



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## En laboratorieundersøgelse af forureningsfordelingen i et lokale

Heiselberg, Per

*Publication date:*  
1992

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Heiselberg, P. (1992). *En laboratorieundersøgelse af forureningsfordelingen i et lokale*. Dept. of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University. Gul Serie Bind R9203 Nr. 13

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**EN LABORATORIEUNDERSØGELSE AF  
FORURENINGSFORDELINGEN  
I ET LOKALE**

Arbejdsrapport i tilknytning til EFP-projekt: "Videreudvikling af metode til måling af luftfordeling og intern lufttransport i bygninger".

---

**P. HEISELBERG**  
**EN LABORATORIEUNDERSØGELSE AF FORURENINGSFORDELINGEN I**  
**ET LOKALE**  
**FEBRUAR 1992**

**ISSN 0902-7513 R9203**

---



## **Forord**

Denne rapport er resultatet af en lang række målinger udført i et fuldskalarum ved Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter i perioden februar - juni 1990. Den indeholder beskrivelse af udførte forsøg, præsentation af resultater og konklusioner.

Laboratoriemålingerne udgør Instituttets bidrag til EFP-projektet "Videreudvikling af metode til måling af luftfordeling og intern lufttransport i bygninger" med Statens Byggeforskningsinstitut som projektleder.

AUC, februar 1992.

Per Heiselberg





## Indholdsfortegnelse

<b>1. Indledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Beskrivelse af fuldskalarum og anvendt apparatur</b>	<b>9</b>
2.1 Fuldskalarum	9
2.2 Måleapparatur	11
<b>3. Undersøgelse nr. 1: Luftskeftemåling ved konstant lufttilførsel</b>	<b>13</b>
3.1 Beskrivelse af undersøgelsen	13
3.2 Præsentation af måleresultater	15
3.3 Kontrol af temperaturer i undersøgelsesperioden	18
3.4 Konklusion	20
<b>4. Undersøgelse nr. 2: Luftskeftemåling ved varierende lufttilførsel</b>	<b>21</b>
4.1 Beskrivelse af undersøgelsen	21
4.2 Præsentation af måleresultater	22
4.3 Kontrol af temperaturer i undersøgelsesperioden	24
4.4 Konklusion	24
<b>5. Undersøgelse nr. 3: Måling af vertikal koncentrationsfordeling i afhængighed af tilført luftmængde</b>	<b>27</b>
5.1 Beskrivelse af undersøgelsen	27
5.2 Præsentation af måleresultater	28
5.3 Kontrol af temperaturer i undersøgelsesperioden	30
5.4 Konklusion	34
<b>6. Undersøgelse nr. 4: Måling af vertikal koncentrationsfordeling i afhængighed af kildeplacering</b>	<b>35</b>
6.1 Beskrivelse af undersøgelsen	35
6.2 Præsentation af måleresultater	36
6.3 Kontrol af temperaturer i undersøgelsesperioden	37
6.4 Konklusion	38
<b>7. Sammenfatning</b>	<b>43</b>
<b>8. Litteraturliste</b>	<b>45</b>



## 1. Indledning

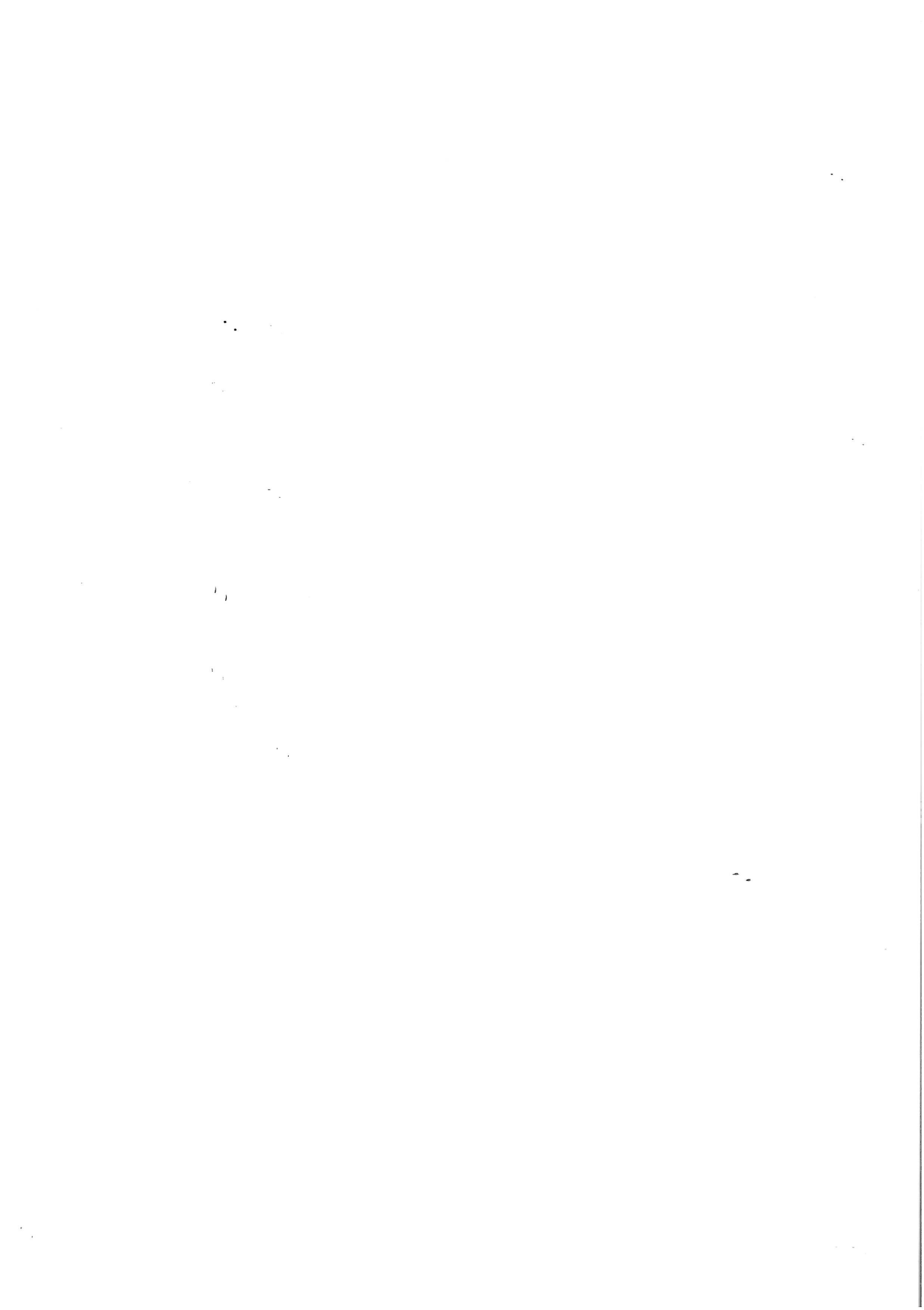
Kendskab til luftfordeling og intern lufttransport i bygninger ved forskellige ventilationsprincipper og ventilationssystemer kan i brugssituationen kun opnås ved udførelse af målinger. Ved Brookhaven National Laboratory i USA er der udviklet en sporgas målemetode, PFT - metoden baseret på passiv opsamlingsteknik, hvorved det både enkelt og billigt skulle kunne lade sig gøre at fastlægge lufttransporten i bygninger.

I tidligere projekter er metodens anvendelighed til måling af luftskiftet i bygninger undersøgt. I projektet "Videreudvikling af metode til måling af luftfordeling og intern lufttransport i bygninger" foretages mere detaljerede undersøgelser med henblik på at vurdere fejlkilder ved metoden, at undersøge muligheden for nye anvendelsesområder samt at udarbejde en enkel vejledning i anvendelse af feltmåleudstyr og tolkning af måleresultater.

Arbejdet i denne rapport er en del af dette projekt, og formålet er at belyse målemetodens fejlkilder, at undersøge mulighederne for måling af fx. koncentrationsfordeling i opholdszonen og ventilationseffektivitet. Arbejdet er gennemført i et fuldskalarum i laboratoriet ved samtidige målinger efter både PFT-metoden og en traditionel sporgasmetode samtidigt. Det er opdelt i 4 undersøgelser, som hver har sit formål.

I den første undersøgelse er formålet, at undersøge om bestemmelsen af luftskiftet i fuldskalarummet afhænger af den anvendte kildetype og/eller af placeringen af opsamlingsrør. I den anden undersøgelse er formålet at bedømme metodens fejlvisning ved varierende luftskifte i fuldskalarummet. I den tredje undersøgelse er formålet at undersøge om opsamlingsrørene er i stand til at registrere koncentrationsforskelle i fuldskalarummet. I den fjerde undersøgelse er formålet, at undersøge om den lokale lufthastighed omkring kilden har indflydelse på kildestyrken og på koncentrationsfordelingen i fuldskalarummet.

Rapporten indeholder en beskrivelse af de udførte forsøg, en præsentation af de opnåede resultater og konklusioner baseret på målingerne efter den traditionelle sporgasmetode.



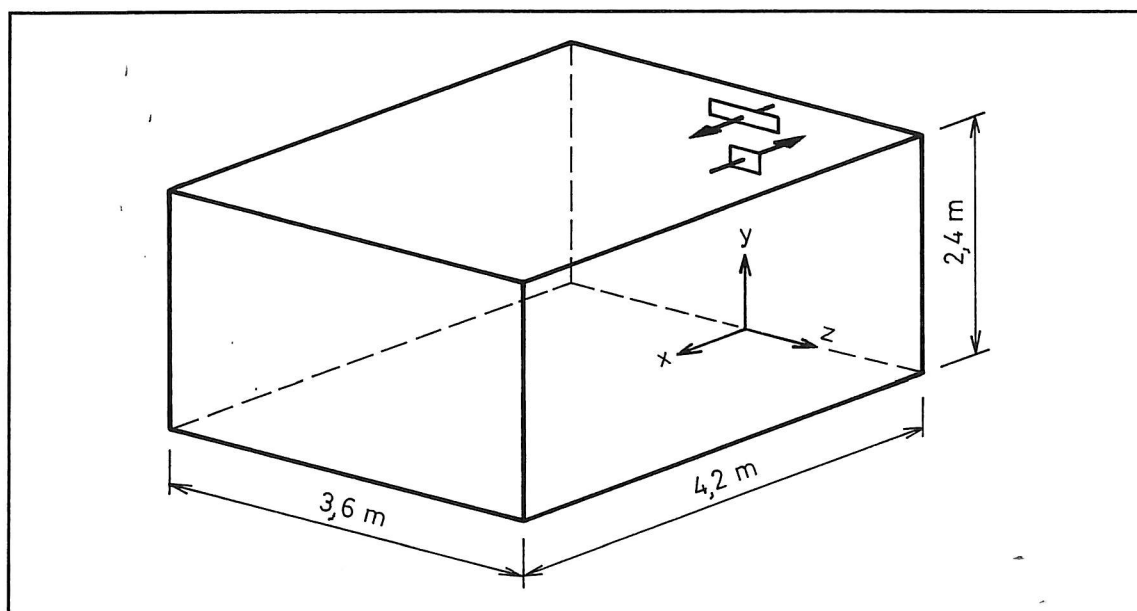
## 2. Beskrivelse af fuldskalarum og anvendt apparatur

Alle målinger i denne rapport er udført i et fuldskalarum ved Institutet for Bygningsteknik, AUC. Fuldskalarummet er placeret i en laboratoriehal under konstante temperaturforhold.

### 2.1 Fuldskalarum

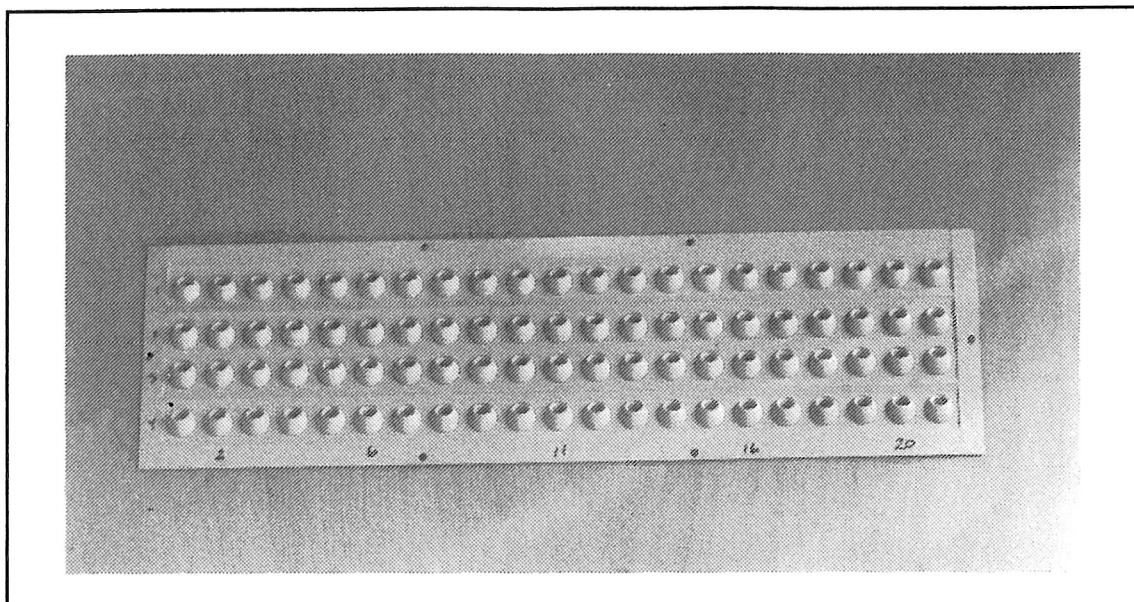
Fuldskalarummet er opbygget af et træskelet med vægge, gulv og loft af 19 mm douglasplader. Rummets dimensioner, placering af indblæsning og udsugning, luftmængder, temperaturforhold osv. er valgt i overensstemmelse med fastlagte størrelser i IEA-annex 20: "Air Flow Patterns within Buildings", [1],[2],[3] og [4].

Fuldskalarummets dimensioner er  $(L \times B \times H) = (4.2 \text{ m} \times 3.6 \text{ m} \times 2.4 \text{ m})$ . Det giver et gulvareal på  $15 \text{ m}^2$  og et rumvolumen på  $36 \text{ m}^3$ . Indblæsning og udsugning er placeret midt på den ene af fuldskalarummets endevægge, se figur 2.1.

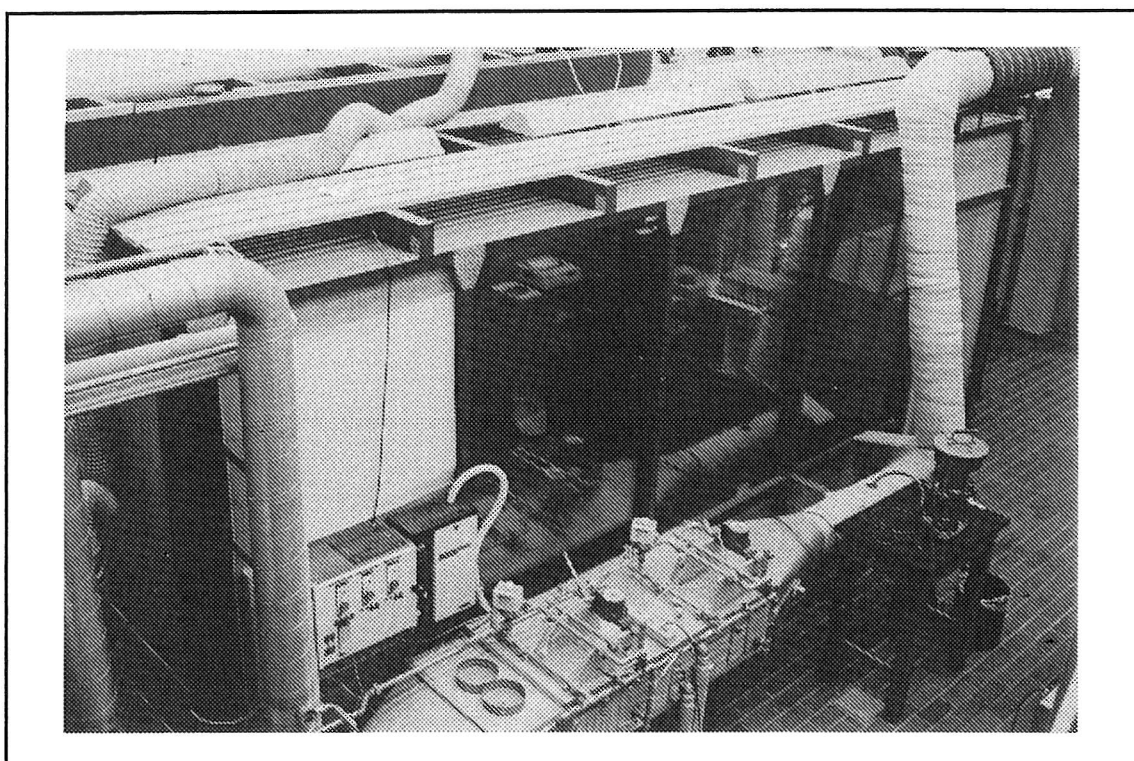


Figur 2.1. Skitse af fuldskalarum i klimalaboratoriet ved AUC.

Indblæsningen sker gennem et armatur af fabrikatet HESCO, se figur 2.2. Armaturet har en dimension på  $(B \times H) = (0.71 \text{ m} \times 0.17 \text{ m})$  og er placeret 0.2 m fra loftet. Armaturet består af fire rækker med 21 små dyser, der er rettet opad mod loftet i en vinkel på  $40^\circ$ . Efter kontakt med loftet opstår der i det videre forløb en tredimensionel vægstråle, som også kan have karakter af en radial vægstråle. Målinger af hastighedsforløbet i vægstrålen langs loftet og af maksimale hastigheder i opholdszonen er præsenteret i [5]. Udsugningen har dimensionen  $(B \times H) = (0.3 \text{ m} \times 0.2 \text{ m})$  og er placeret under indblæsningen 0.6 m fra loftet.



Figur 2.2. Indblæsningsarmatur af fabrikatet HESCO.



Figur 2.3. Fuldskealarum i klimalaboratoriet ved AUC.

Under forsøgene er der anvendt ventilationsluft fra laboratoriehallen for at undgå temperatur- og trykssvingninger i anlægget. Alle undersøgelser er udført under stationære isoterme forhold. Temperaturerne i indblæsning, udsugning og på overfladerne samt den indblæste volumenstrøm er løbende kontrolleret. De målte temperaturforskelle er for hvert enkelt forsøg medtaget under præsentation af resultater.

## 2.2 Måleapparatur

I forbindelse med undersøgelserne i denne rapport er der udført målinger af temperatur, luftmængde, sporgasmængde og sporgaskoncentration.

Temperaturer i indblæsning, udsugning og i fuldskalarummet er målt med termoelementer type K. Termoelementerne er via KAYE ispunktreference forbundet med en FLUKE 2240B datalogger opsamlet på en PC. Temperaturerne er i måleperioden målt hvert femte minut.

Den indblæste ventilationsluftmængde er bestemt ved måling af trykfaldet over en måleblænde med et DEBRO mikroanemometer. Måleblænden er kalibreret i en jetvindtunnel, og det målte trykfald kan via kalibreringskurven omsættes til en luftmængde.

Sporgaskoncentrationen i fuldskalarummet er målt ved brug af en konventionel sporgasmetode.

Sporgassen er tilført gennem en bordtennisbold med 6 stk.  $\varnothing 1$ mm huller jævnt fordelt over overfladen. Kuldioxid er anvendt som sporgas. For at opnå en sporgasdensitet lig med luftens densitet er kuldioxid blandet med helium. Den tilførte sporgasmængde er fundet ved måling af volumenflowet af hver komponent for sig og derefter summere resultatet. Til måling af volumenflowet er benyttet to kalibrerede flowmetre. Koncentrationen i fuldskalarummet er målt ved hjælp af en BINOS 100 gasanalysator, der er forbundet med en omskifterenhed, der gør det muligt at måle koncentrationen i 12 målepunkter.





### 3. Undersøgelse nr. 1:   Luftskiftemåling ved konstant lufttilførsel

Ved undersøgelse nr. 1 er formålet at undersøge om bestemmelsen af luftskiftet afhænger af den anvendte kildetype og/eller af placeringen af opsamlingsrør. Dette er undersøgt ved at ventilere fuldskalarummet med et konstant luftskifte i ca. fire døgn, ved at anbringe tre kildetyper samtidigt samme sted og ved at anbringe opsamlingsrør jævnt fordelt i fuldskalarummets opholdszone. Kontrolmålinger er udført i udvalgte målepunkter.

#### 3.1 Beskrivelse af undersøgelsen.

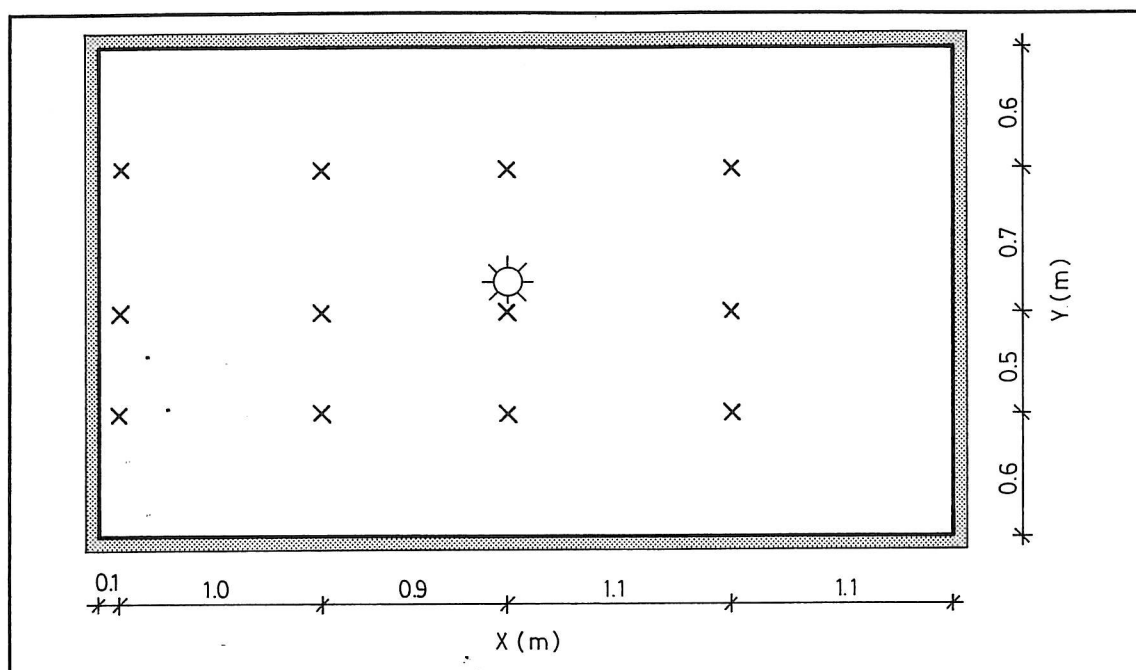
Ved undersøgelsen er der anvendt fire sporgaskilder, tre PFT-kilder og en CO<sub>2</sub>-kilde. Alle kilder er anbragt midt i lokalet  $(x,y,z) = (2.2;1.2;0.0)$ , se figur 2.1, svarende til den foreslåede placering i [3]. Den tilførte sporgasmængde var  $m = 0.025$  l/s, ligeledes svarende til den foreslåede mængde i [3].

Til måling af koncentrationsniveauet i fuldskalarummet anvendtes 18 opsamlingsrør. Deres placering i rummet er vist på figurene 3.1 og 3.2. Opsamlingsrørene blev placeret i tre vandrette planer 0.6 m, 1.1 m og 1.8 m over gulvet. I hvert vandret plan blev et rør placeret midt i lokalet, dvs. forholdsvis tæt ved kilden. Måleresultaterne i disse målepunkter giver mulighed for sammenligning med resultaterne i senere undersøgelser (nr. 3 og nr. 4). I hvert vandret plan blev der desuden placeret et rør ved endevæggen, som indblæsnings-strålen strømmer langs og fire rør blev jævnt fordelt i rummet.

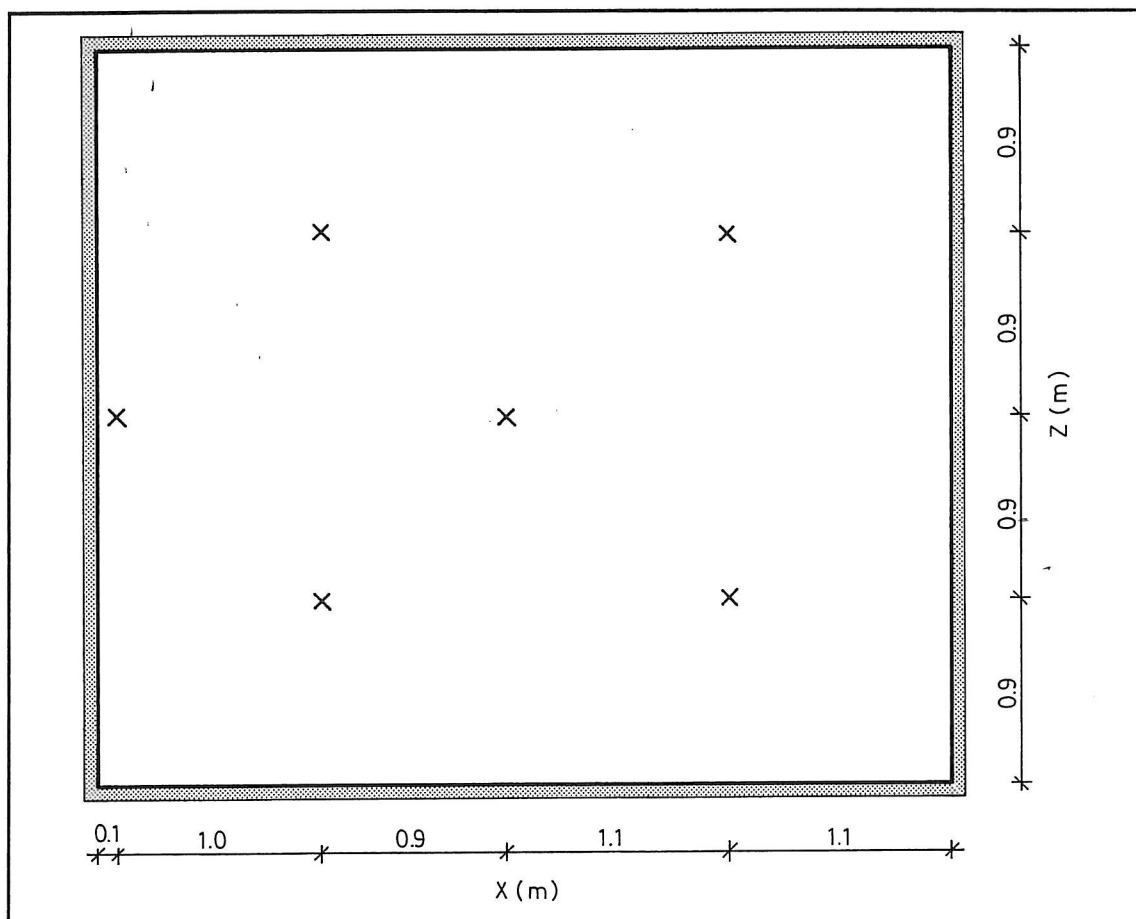
Til måling af koncentrationen i udsugningen blev to opsamlingsrør placeret i udsugningskanalen umiddelbart efter udsugningsarmaturet. Rørene blev fæstnet til kanalsiden.

Kontrolmålinger blev foretaget i 10 målepunkter i rummet og i et målepunkt i udsugningen. Alle målepunkters placering er angivet i tabel 3.1.

Fuldskalarummet ventileredes med en konstant luftmængde på  $V = 109$  m<sup>3</sup>/h, svarende til et specifikt luftskifte på 3 rumv/h i en periode på 97h 45min.



Figur 3.1. Målepunktsplacering i fuldskalarum. Lodret snit i rummet med placering af sporgaskilde.



Figur 3.2. Målepunktsplacering i fuldskalarum. Vandret snit i rummet.

MÅLEPUNKT	PFT - MÅLING			KONTROLMÅLING		
NR.	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1				INDBLÆSNING		
2	2.2	0.6	0.0	2.2	0.6	0.0
3	4.1	0.6	0.0			
4	3.1	0.6	-0.9			
5	1.1	0.6	-0.9			
6	1.1	0.6	0.9	1.1	0.6	0.9
7	3.1	0.6	0.9			
8	2.2	1.1	0.0	2.2	1.1	0.0
9	4.1	1.1	0.0	4.1	1.1	0.0
10	3.1	1.1	-0.9	3.1	1.1	0.9
11	1.1	1.1	-0.9	1.1	1.1	0.9
12	1.1	1.1	0.9	1.1	1.1	0.9
13	3.1	1.1	0.9	3.1	1.1	0.9
14	2.2	1.8	0.0	2.2	1.8	0.0
15	4.1	1.8	0.0	4.1	1.8	0.0
16	3.1	1.8	-0.9			
17	1.1	1.8	-0.9			
18	1.1	1.8	0.9			
19	3.1	1.8	0.9			
20	UDSUGNING			UDSUGNING		

Tabel 3.1 Målepunktsplacering i fuldskalarum.

### 3.2 Præsentation af måleresultater

Måleresultaterne i det følgende er præsenteret ved relative koncentrationer. Den relative koncentration i et punkt er defineret som middelkoncentrationen i punktet i forhold til middelkoncentrationen i udsugningen.

I tabel 3.2 er den relative koncentration i hvert målepunkt vist for kontrolmålingen. Resultatet af kontrolmålingerne i fuldskalarummet er angivet ved middelværdien af den

relative koncentration i hvert målepunkt.

MÅLEPUNKT	MIDDEL	SPREDNING	MAKSIMUM	MINIMUM
2	1.44	0.47	3.53	0.90
6	1.13	0.10	1.58	0.91
8	1.66	0.56	3.97	0.95
9	0.87	0.03	0.97	0.76
10	1.11	0.10	1.57	0.85
11	0.99	0.05	1.33	0.87
12	1.10	0.07	1.42	0.91
13	1.20	0.16	1.92	0.89
14	1.03	0.12	1.90	0.86
15	0.83	0.03	0.92	0.74
20	1.00	0.04	1.18	0.88

Tabel 3.2. Relative koncentrationer målt efter kontrolmetoden angivet som middelkoncentration, spredning, maksimums- og minimumskoncentration

Målingerne viser, at der kan være store forskelle i de målte koncentrationer forskellige steder i fuldskalarummet. Relative koncentrationer på op til 1.66 er registreret i målepunkter placeret tæt på sporgaskilden. Lave relative koncentrationer på 0.8-0.9 er registreret i målepunkter placeret i områder af fuldskalarummet, hvor indblæsningsluftstrålen når frem.

Kontrolmålingerne viser også, at der er store forskelle på, hvor meget koncentrationen varierer i måleperioden i de enkelte målepunkter.

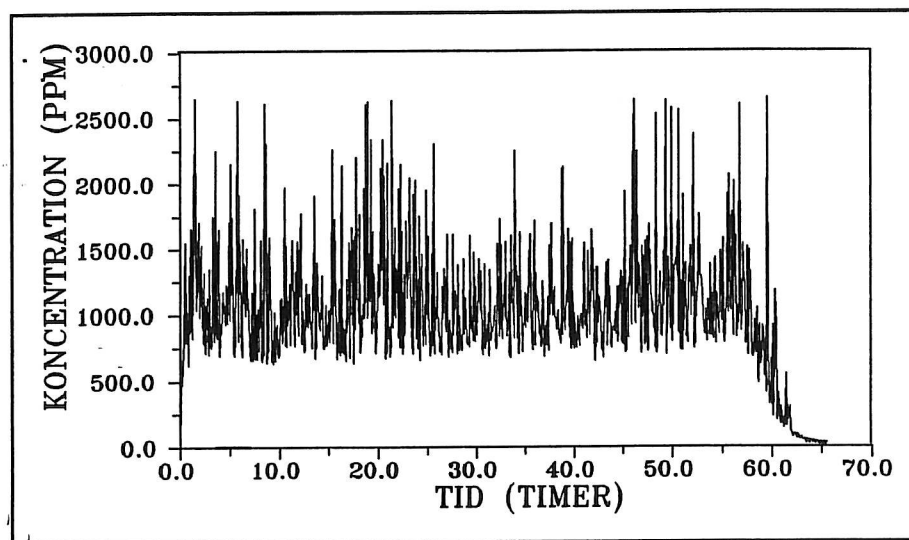
På figur 3.3 er de målte koncentrationer i målepunkt nr. 8 optegnet som funktion af tiden. Koncentrationen er målt hvert tredje minut i en måleperiode på næsten 70 timer. Målepunkt nr. 8 er placeret kun 10 cm fra sporgaskilden, og det ses, at koncentrationen varierer meget som funktion af tiden. I tabel 3.2 ses det, at spredningen på den relative koncentration i målepunktet er ca. 1/3 af middelkoncentrationen.

På figur 3.4 er de målte koncentrationer i målepunkt nr. 9 optegnet som funktion af tiden. Målepunkt nr. 9 er placeret ved endevæggen i fuldskalarummet, som indblæsningsstrålen fra indblæsningsarmaturet strømmer ned langs. Det ses, at koncentrationen i punktet kun varierer ganske lidt, og at spredningen på den relative koncentration kun er nogle få procent af middelkoncentrationen, se tabel 3.2.

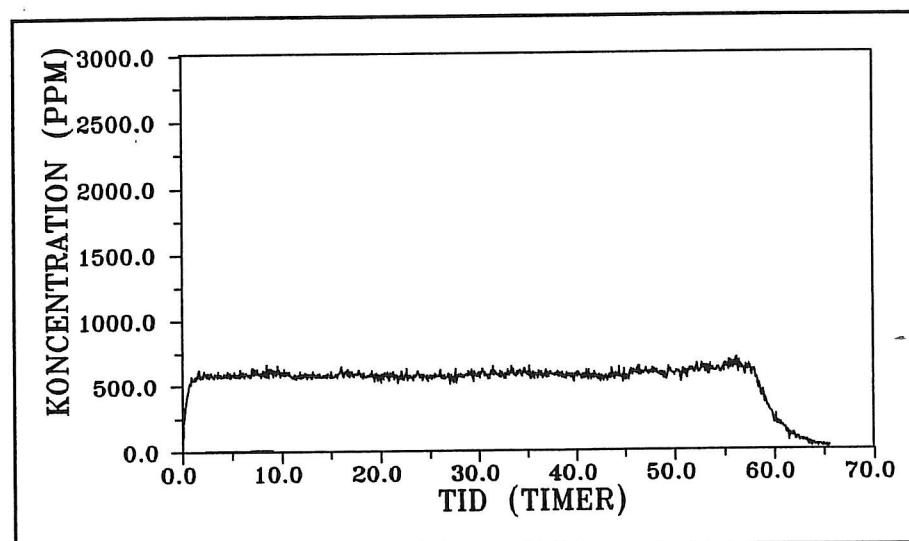
På figur 3.5 er de målte koncentrationer i udsugningen optegnet som funktion af tiden.

på 4% af middelkoncentrationen, se tabel 3.2.

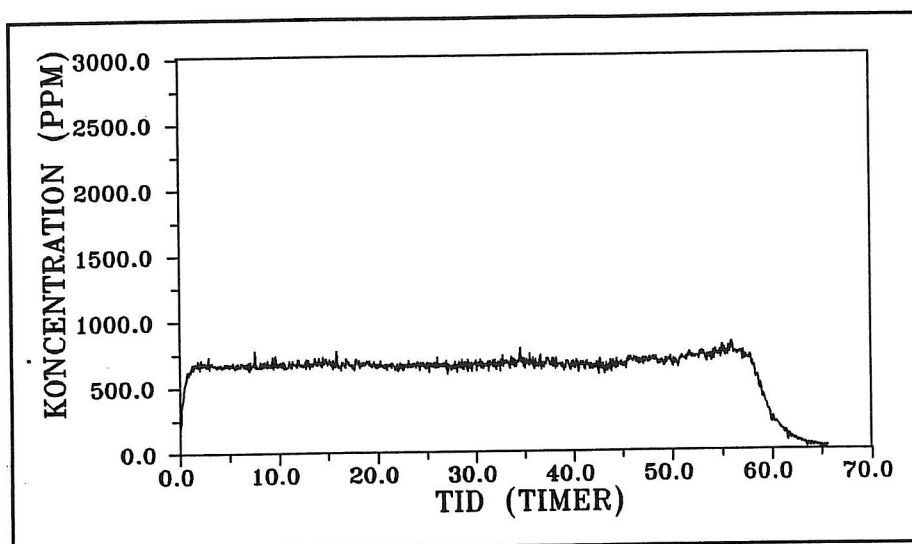
Koncentrationen i et målepunkt kan altså være væsentligt højere end middelkoncentrationen i kortere tidsrum. I tabel 3.2 er foruden den gennemsnitlige relative koncentration og spredning i hvert målepunkt også vist minimums- og maksimumskoncentrationer. Det ses, at i målepunkter med stor spredning på koncentrationsmålingerne kan det maksimale koncentrationsniveau være op til 2-3 gange middelkoncentrationen.



Figur 3.3. Koncentrationsmålinger i målepunkt nr. 8. Koncentrationen i punktet er målt hvert tredje minut.



Figur 3.4. Koncentrationsmålinger i målepunkt nr. 9. Koncentrationen i punktet er målt hvert tredje minut.



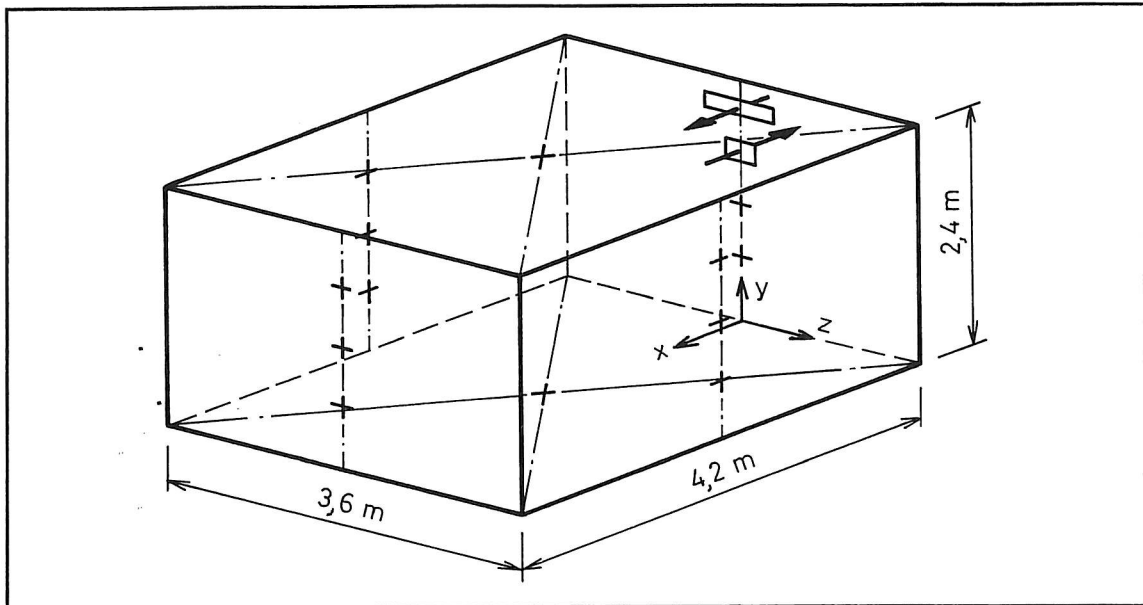
Figur 3.5. Koncentrationsmålinger i udsugningen. Koncentrationen er målt hvert tredje minut.

### 3.3 Kontrol af temperaturer i undersøgelsesperioden

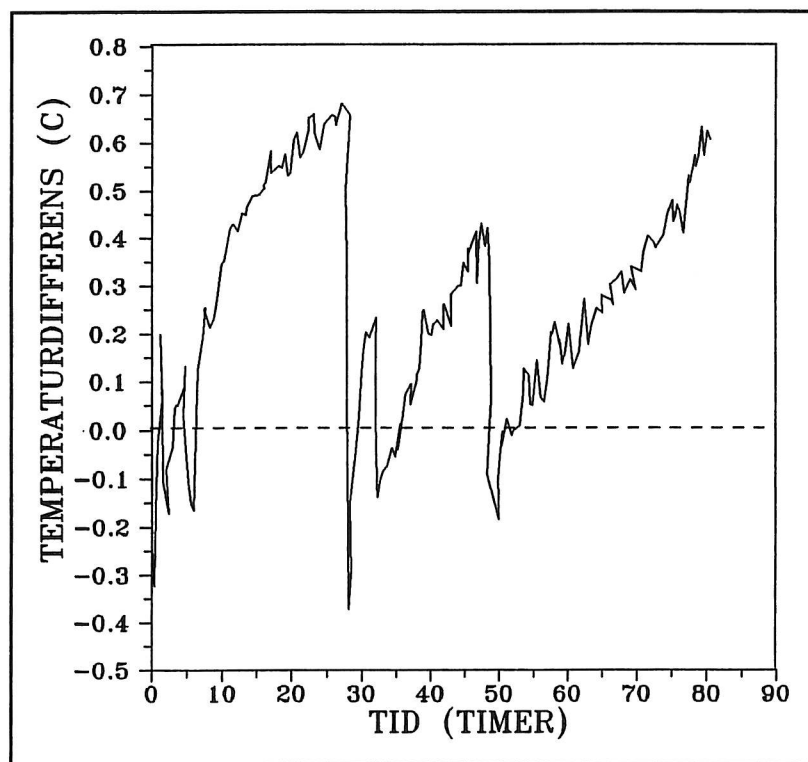
Undersøgelsen er forsøgt udført under stationære isoterme forhold. Det er naturligvis ikke muligt med en forsøgsperiode på flere døgn at opretholde helt konstante temperaturforhold. Derfor er temperaturerne i indblæsning, i udsugning og på overflader målt gennem hele undersøgelsesperioden. Overfladetemperaturen er målt på alle seks indvendige overflader. På væggene er overfladetemperaturen målt i tre forskellige afstande fra gulvet, 0.6 m, 1.2 m og 1.8 m. På figur 3.6 ses målepunkternes placering i fuldsalarummet.

Alle temperaturer er målt hvert femte minut gennem hele undersøgelsesperioden. På figur 3.7 er temperaturdifferensen mellem indblæsning og udsugning optegnet. Det ses, at temperaturdifferensen varierer mellem  $+0.7^{\circ}\text{C}$  og  $-0.4^{\circ}\text{C}$ . Den gennemsnitlige temperaturdifferens er beregnet til  $0.3^{\circ}\text{C}$ . På grund af opvarmning af luften i ventilatoren var det nødvendigt at køle luften. Store og pludselige ændringer i temperaturdifferensen mellem indblæsning og udsugning skyldtes ændringer af køleydelsen typisk ved arbejdsdagens start.

På figur 3.8 er de gennemsnitlige overfladetemperaturer optegnet. Det ses, at overfladetemperaturen varierer med  $0.2^{\circ}\text{C}$  mellem de fire vægoverflader. Temperaturgradienten i opholdszonen er beregnet til  $0.25^{\circ}\text{C/m}$ .

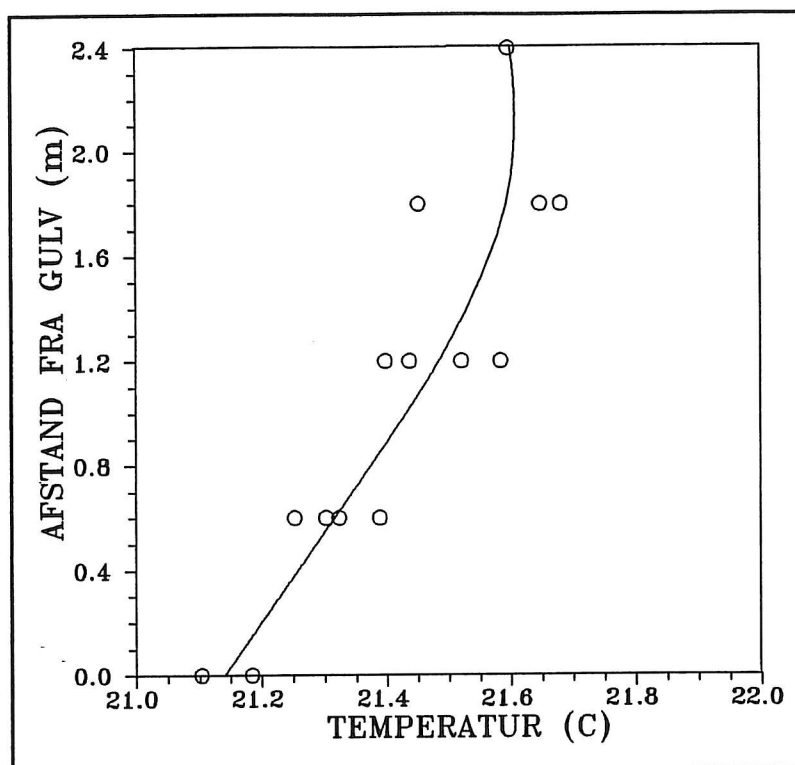


Figur 3.6. Placering af målepunkter til kontrol af temperaturen i fuldskalarummet.



Figur 3.7. Temperaturdifferent mellem indblæsning og udsugning.





Figur 3.8. Gennemsnitlige overfladetemperaturer i fuldskalarummet.

### 3.4 Konklusion

Undersøgelse nr. 1 viste, at bestemmelsen af luftskiftet afhænger af placeringen af målepunkterne i rummet, hvor en placering for tæt på sporgaskilden ( $< 1\text{m}$ ) vil medføre måling af forholdsvis små luftskifter, mens en placering i nærheden af luftindtag vil medføre måling af forholdsvis store luftskifter. Den bedste måling af luftskiftet fås ved at placere målepunkterne i områder, hvor luften forlader rummet eller ved at placere flere målepunkter jævnt fordelt i rummet.

Kontrolmålingerne viste, at der i nogle målepunkter var meget store variationer i de målte koncentrationer. Det betyder, at koncentrationsniveauet i nogle områder af rummet i korte tidsrum kan være op til 2-3 gange det beregnede gennemsnitlige koncentrationsniveau.

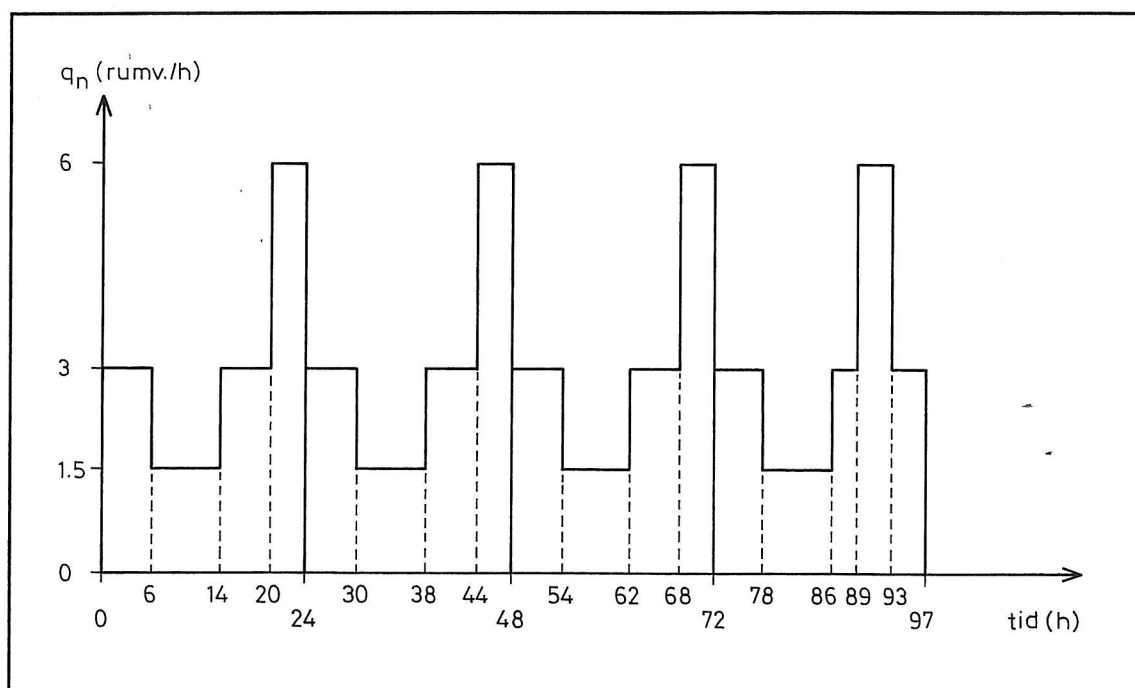
## 4. Undersøgelse nr. 2: Luftskiftemåling ved varierende lufttilførsel

Ved undersøgelse nr. 2 er formålet at bedømme målemetodernes fejlvisning ved varierende luftskifte i fuldskalarummet. Dette er undersøgt ved at ventilere fuldskalarummet med et varierende luftskifte i ca. fire døgn. Ventilationsluftmængden er varieret i spring med passende intervaller. Intervallerne er valgt således, at det gennemsnitlige luftskifte er det samme som i undersøgelse nr. 1.

### 4.1 Beskrivelse af undersøgelsen.

Ved undersøgelse nr. 2 anvendtes samme antal og placering af sporgaskilder, opsamlingsrør og kontrolmålepunkter som ved undersøgelse nr. 1, se figurene 3.1 og 3.2 samt tabel 3.1.

Fuldskalarummet ventileredes med tre forskellige luftmængder  $V = 54 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $V = 109 \text{ m}^3/\text{h}$  og  $V = 218 \text{ m}^3/\text{h}$ . Det svarer til specifikke luftskifter på henholdsvis 1.5 rumv./h, 3 rumv./h og 6 rumv./h. Luftmængderne er valgt svarende til foreslåede værdier i [2]. Luftmængden blev varieret i spring i en døgncyklus med et luftskifte på 1.5 rumv./h i 8 timer, 3 rumv./h i 6 timer, 6 rumv./h i 4 timer og endelig 3 rumv./h i 6 timer. Den totale måleperiode udgjorde 101h 20min. Døgncyklussen blev gentaget fire gange, se figur 4.1.



Figur 4.1. Program for variabel lufttilførsel til fuldskalarummet.

## 4.2 Præsentation af måleresultater.

Måleresultaterne er i det følgende præsenteret ved relative koncentrationer. I tabel 4.1 er den gennemsnitlige relative koncentration i hvert målepunkt vist for undersøgelserne nr. 1 og 2 for kontrolmålingen.

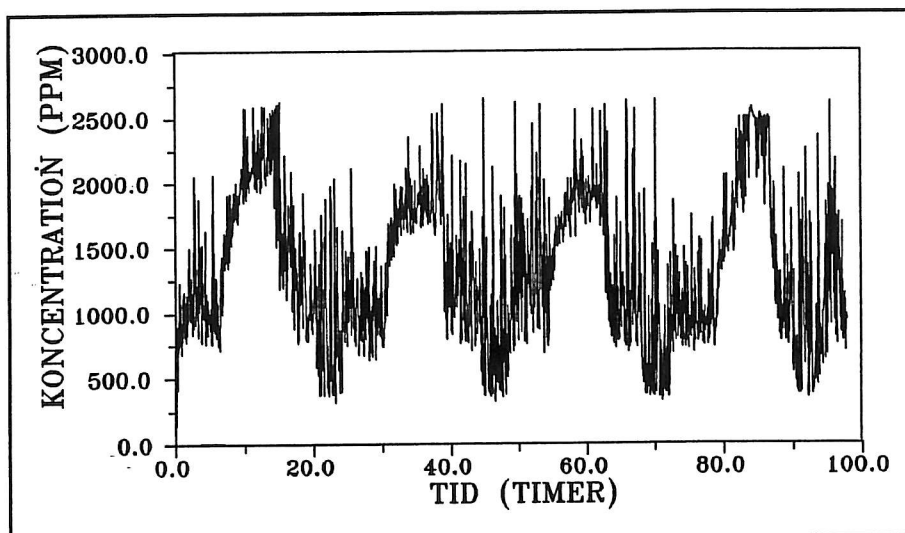
MÅLEPUNKT	KONTROLMÅLING	
NR	Unders. 1	Unders. 2
2	1.44	1.66
6	1.13	1.51
8	1.66	1.63
9	0.87	0.84
10	1.11	1.20
11	0.99	1.16
12	1.10	1.19
13	1.20	1.29
14	1.03	1.00
15	0.83	0.77

Tabel 4.1. Gennemsnitlig relativ koncentration i hvert målepunkt ved undersøgelserne nr. 1 og nr. 2 for kontrolmålingen.

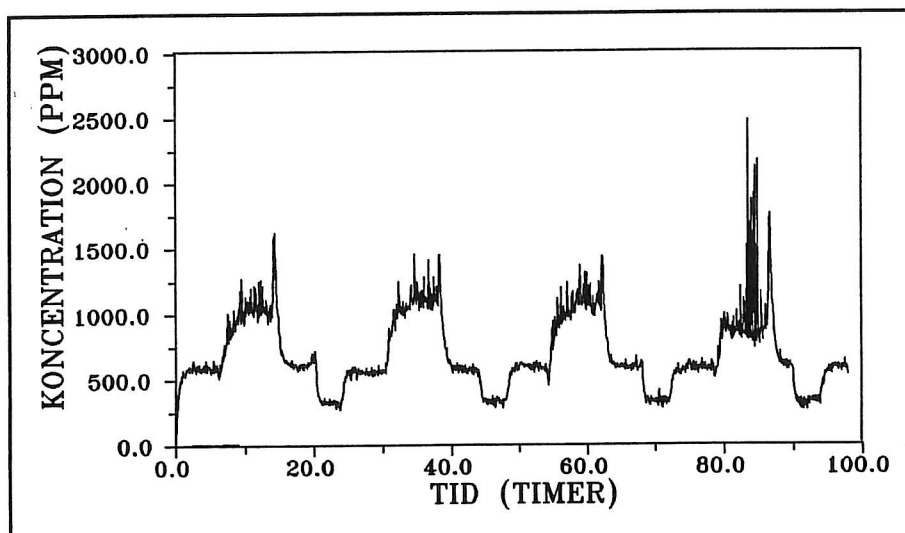
Den gennemsnitlige ventilationsluftmængde er ens i undersøgelse nr. 1 og nr. 2, således at der skulle kunne forventes nogenlunde samme resultat. Målingerne viser næsten ens resultater. Målepunkterne nr. 2 og nr. 6 i undersøgelse nr. 2 viser dog et væsentligt højere koncentrationsniveau end de tilsvarende punkter i undersøgelse nr. 1. Dette skyldes, at strømningsforholdene ændrer sig i lokalet, når ventilationsluftmængden ændrer sig, se kap 5. Af figur 5.2 ses det, at koncentrationsniveauet ved en luftmængde svarende til et specifikt luftskifte på  $n=1.5h^{-1}$  er meget højt ved gulvniveau, hvor målepunkterne nr. 2 og nr. 6 er placeret. Det gennemsnitlige koncentrationsniveau bliver derfor højere ved undersøgelse nr. 2 end ved undersøgelse nr. 1.

På figurene 4.2-4.4 er de målte koncentrationer i målepunkterne nr. 8 og nr. 9 og i udsugningen optegnet som funktion af tiden. Ventilationsluftmængdens døgncyklus afspejler sig tydeligt i de målte koncentrationsniveauer. Når ventilationsluftmængden ændres, ændrer koncentrationsniveauet i fuldsalarummet sig forholdsvis hurtigt til et nyt stationært niveau. Det ændres hurtigst, når det specifikke luftskifte ændres til  $n=6.0h^{-1}$ , og langsomst, når det specifikke luftskifte ændres til  $n=1.5h^{-1}$ .

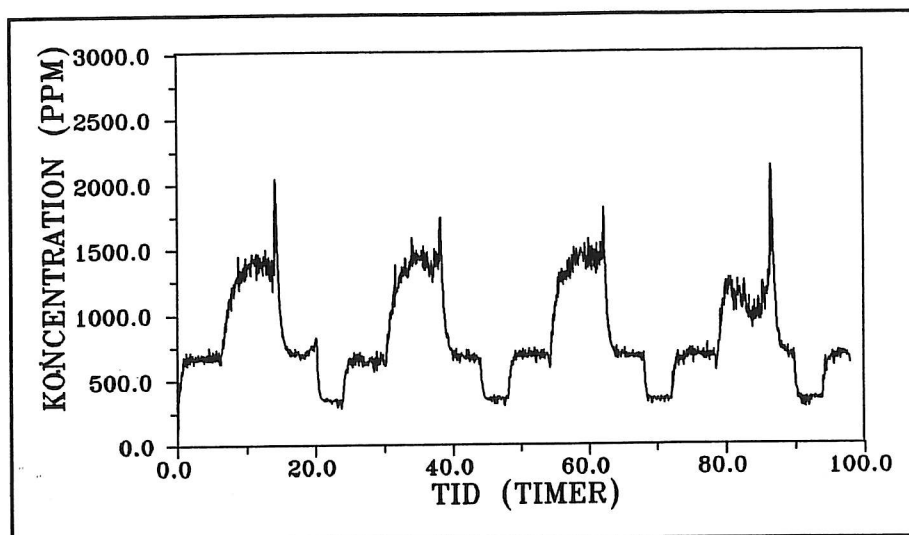
Som ved undersøgelse nr. 1 varierer koncentrationen meget i målepunkt nr. 8, der er placeret tæt ved sporgaskilden, mens den varierer meget lidt i målepunkt nr. 9, der er placeret ved endevæggen, som indblæsningsstrålen fra indblæsningsarmaturet strømmer ned langs.



Figur 4.2. Koncentrationsmålinger i målepunkt nr. 8. Koncentrationen i punktet er målt hvert tredje minut.



Figur 4.3. Koncentrationsmålinger i målepunkt nr. 9. Koncentrationen i punktet er målt hvert tredje minut.



Figur 4.4. Koncentrationsmålinger i udsugningen. Koncentrationen er målt hvert tredje minut.

### 4.3 Kontrol af temperaturer i undersøgelsesperioden

Temperaturen blev hvert femte minut målt i indblæsning, i udsugning og på overfladerne for at kontrollere, at undersøgelsen blev udført under tilnærmelsesvis stationære isoterme forhold. Målepunkternes placering kan ses på figur 3.6.

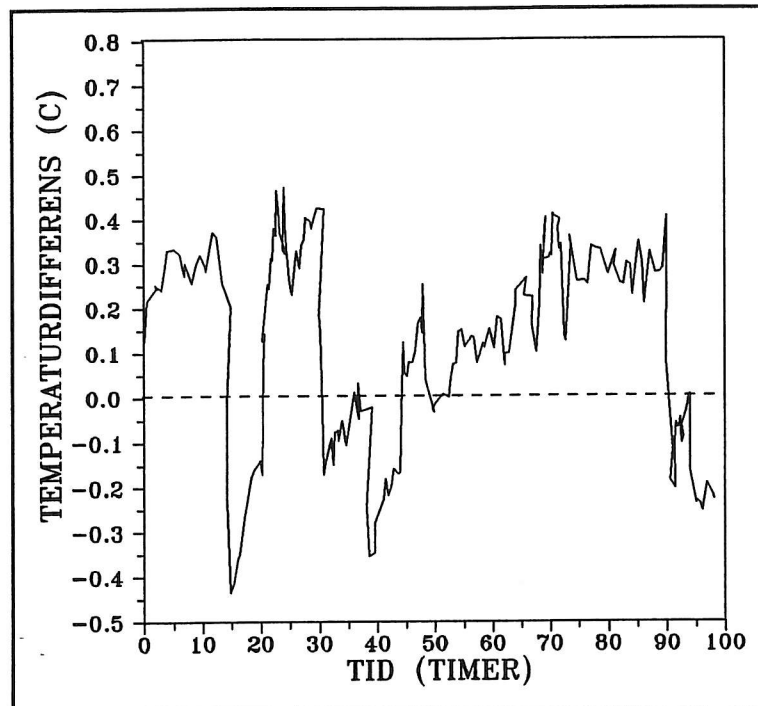
På figur 4.5 er temperaturdifferensen mellem indblæsning og udsugning optegnet. Det ses, at temperaturdifferensen varierer mellem  $+0.5^{\circ}\text{C}$  og  $-0.5^{\circ}\text{C}$ . Den gennemsnitlige temperaturdifferens er beregnet til  $0.22^{\circ}\text{C}$ . De store og pludselige ændringer i temperaturdifferensen, der kan ses på figur 4.5, skyldes ikke variation af luftmængden i undersøgelsesperioden men regulering af køleydelsen.

De gennemsnitlige overfladetemperaturer er optegnet på figur 4.6. Overfladetemperaturen varierer med ca.  $0.2^{\circ}\text{C}$  mellem de fire vægoverflader. Temperaturgradienten i opholdszonen er beregnet til  $0.22^{\circ}\text{C/m}$ .

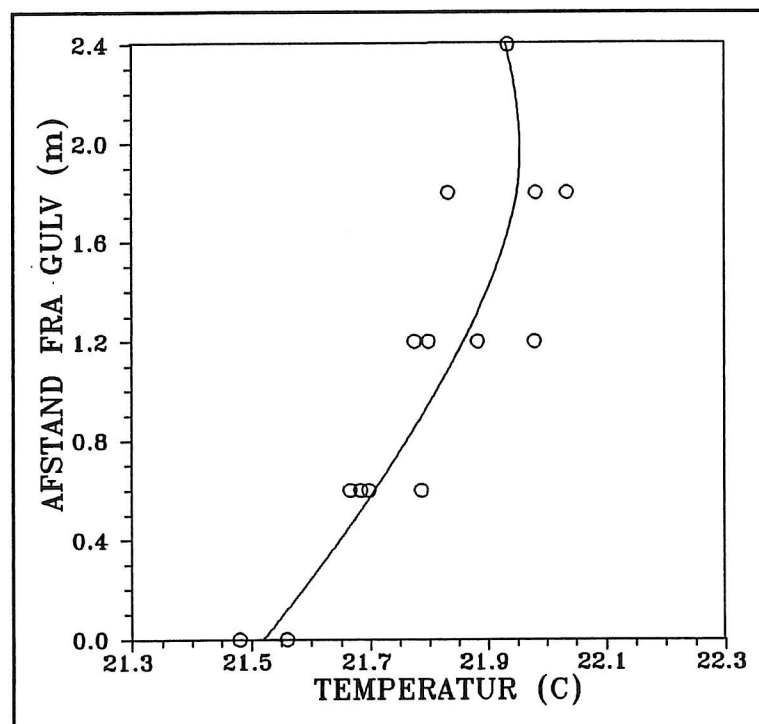
### 4.4 Konklusion

Ventilationsluftmængden til lokalet varieredes i spring i en døgncyklus. Dette afspejlede sig tydeligt i det målte koncentrationsniveau i lokalet. Ved et spring i luftmængde ændrede koncentrationsniveauet sig hurtigt til et nyt stationært niveau.

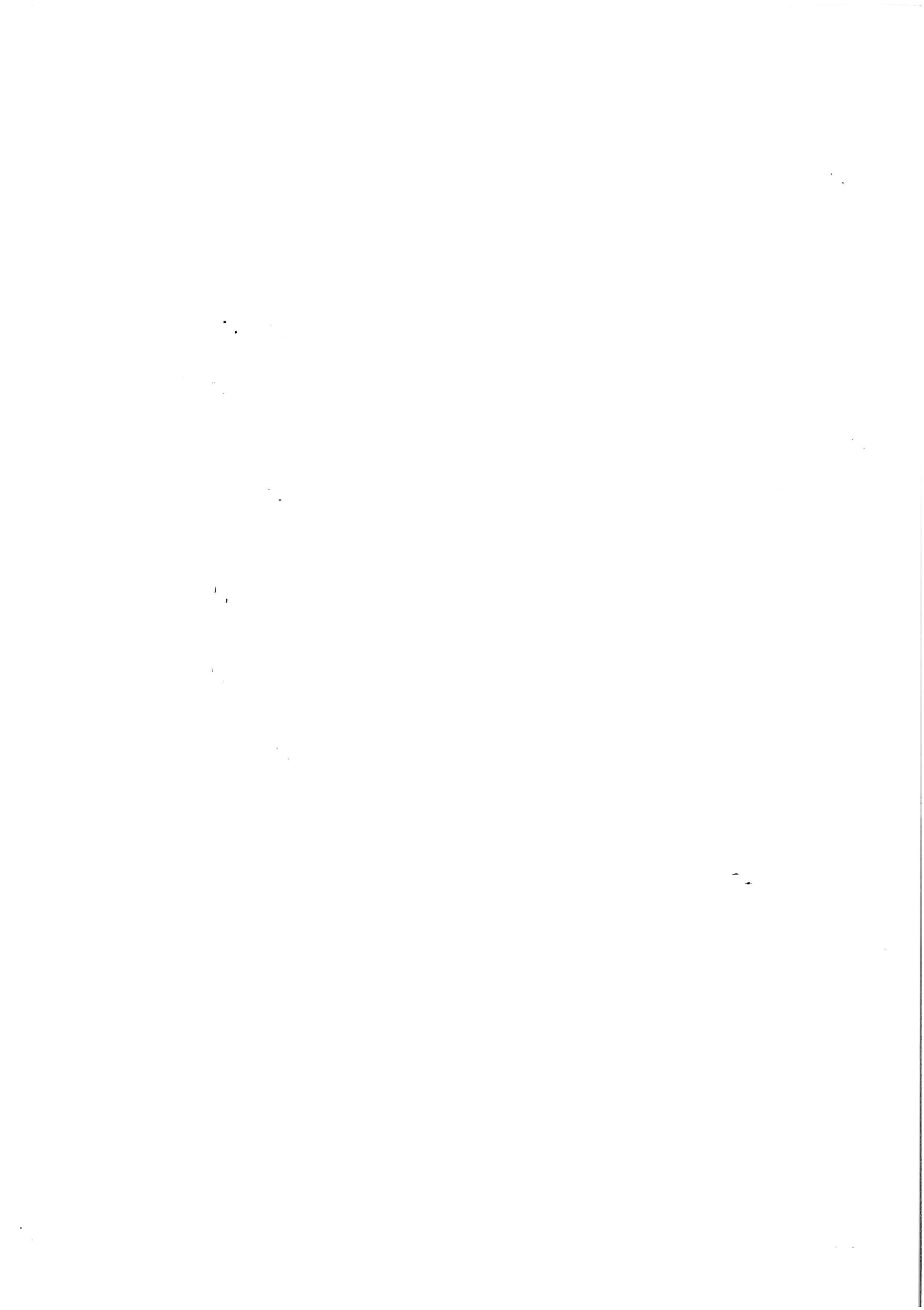
Strømningsbilledet i lokalet ændrer sig, når luftmængden ændres, se kap 5. Derfor vil der heller ikke opnås samme resultat som ved undersøgelse nr. 1 i alle punkter, selv om den gennemsnitlige ventilationsluftmængde til lokalet er den samme. Dette gælder især målepunkterne placeret tættest ved gulvet, da koncentrationsniveauet her er forholdsvis højt ved en luftmængde svarende til et specifikt luftskifte på  $n=1.5\text{h}^{-1}$ .



Figur 4.5. Temperaturdifferent mellem indblæsning og udsugning.



Figur 4.6. Gennemsnitlige overfladetemperaturer i fuldskalarummet.

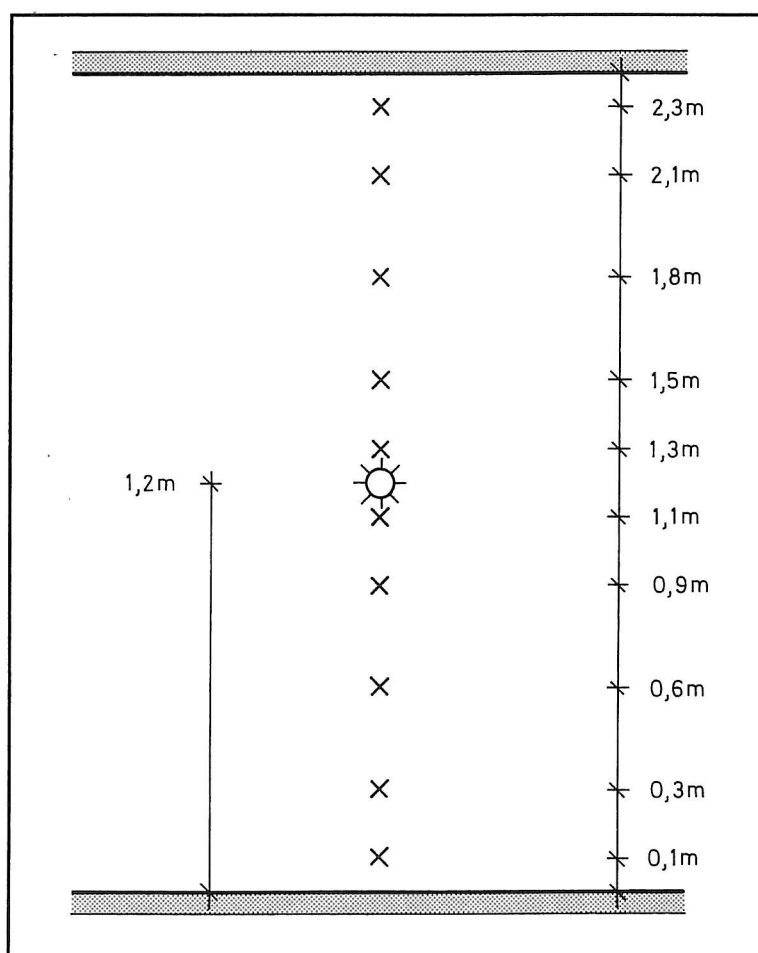


## 5. Undersøgelse nr. 3: Måling af vertikal koncentrationsfordeling i afhængighed af tilført luftmængde

Ved undersøgelse nr. 3 er formålet at undersøge om opsamlingsrørene er i stand til at registrere koncentrationsforskelle i fuldskalarummet. Dette er undersøgt ved at ventilere fuldskalarummet med et konstant luftskifte i ca. fire døgn, ved at anbringe tre kildetyper samtidigt samme sted og ved at anbringe opsamlingsrør langs en lodret linie midt i lokalet. For at klarlægge hvor små koncentrationsforskelle, det er muligt at registrere med PFT-metoden, er forsøget udført tre gange med forskellige ventilationsluftmængder.

### 5.1 Beskrivelse af undersøgelsen

Ved undersøgelse nr. 3 anvendtes samme antal og placering af sporgaskilder som ved undersøgelserne nr. 1 og nr. 2, se afsnit 3.1.



Figur 5.1. Målepunktsplacering langs en lodret linie i fuldskalarum.



Koncentrationsforskelle i fuldskalarummet registreredes med 2 x 10 opsamlingsrør placeret parvis langs en lodret linie midt i rummet ved sporgaskilderne. Opsamlingsrørenes indbyrdes placering er vist på figur 5.1.

Til måling af koncentrationen i udsugningen blev to opsamlingsrør placeret i udsugningskanalen umiddelbart efter udsugningsarmaturet. Rørene blev fæstnet til kanalsiden. Kontrolmålinger blev foretaget i de samme 10 målepunkter i rummet, som vist på figur 5.1, og i udsugningen.

Undersøgelsen opdeltes i tre omgange, hvor fuldskalarummet ventileredes med tre forskellige ventilationsluftmængder. Først, undersøgelse nr. 3A, ventileredes rummet med en konstant luftmængde på  $V = 54 \text{ m}^3/\text{h}$  svarende til et specifikt luftskifte på 1.5 rumv./h i en periode på 138h. Dernæst, undersøgelse nr. 3B, ventileredes rummet med en konstant luftmængde på  $V = 109 \text{ m}^3/\text{h}$  svarende til et specifikt luftskifte på 3 rumv./h i en periode på 94h 20min. Til sidst, undersøgelse nr. 3C, ventileredes rummet med en konstant luftmængde på  $V = 218 \text{ m}^3/\text{h}$  svarende til et specifikt luftskifte på 6 rumv./h i en periode på 98h 5min. Luftmængderne er valgt svarende til de foreslåede værdier i [2].

## 5.2 Præsentation af måleresultater

Måleresultaterne er i det følgende præsenteret ved relative koncentrationer. På figurerne 5.2 - 5.4 er resultaterne fra kontrolmålingerne vist for hver af undersøgelserne nr. 3A, nr. 3B og nr. 3C. På hver figur er optegnet den gennemsnitlige koncentration i hvert målepunkt, den gennemsnitlige koncentration  $\pm$  spredningen på de målte koncentrationer samt maksimums- og minimumskoncentrationer.

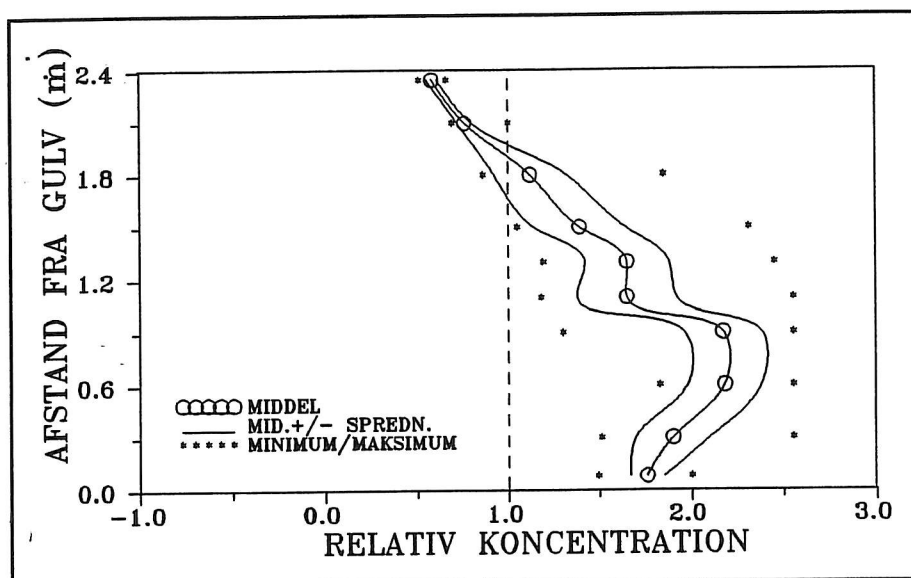
Ved undersøgelse nr. 3A svarer den tilførte ventilationsluftmængde omtrent til minimumskravet for kontorlokaler. Målinger i [5] viser, at indblæsningsstrålens kastelængde er omkring 4/5 af lokalets længde, og at maksimumshastigheden i opholdszonen er under 0.1 m/s.

Resultatet i figur 5.2 viser i den øverste del af lokalet en koncentrationsfordeling i indblæsningsstrålen, der opstår på grund af medrivning af forurenede rumluft i den rene indblæsningsstråle. Indblæsningsstrålen når kun frem i den øverste del af lokalet, hvorfor tilbagestrømning af luft kun vil forekomme i den øverste del af opholdszonen. I den nederste del af opholdszonen er hastighederne små, og der vil være en lille luftudskiftning. Derfor opstår der her et højt koncentrationsniveau.

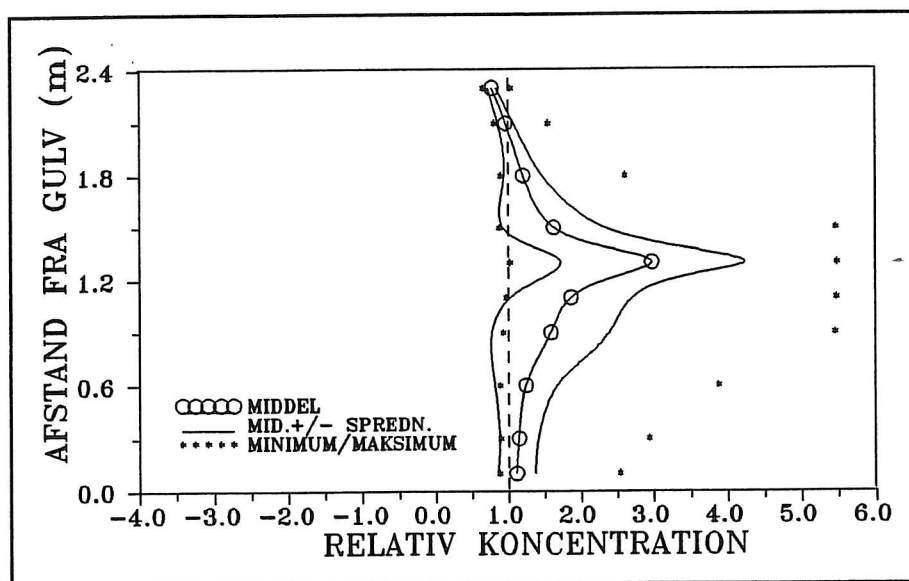
Ved undersøgelse nr. 3B svarer den tilførte ventilationsluftmængde til den normale luftmængde i et kontorlokale. Ifølge [5] vil indblæsningsstrålens kastelængde være tilnærmelsesvis lig med rummets længde + rummets højde. Den maksimale hastighed i opholdszonen vil være 0.16 m/s, hvilket er den maksimale værdi, der kan accepteres i et kontorlokale.

Resultatet i figur 5.3 viser, at indblæsningsstrålen når gulvniveau i lokalet, og at der foregår en recirkulerende strømning langs gulvet med et koncentrationsniveau af samme

størrelsesorden som i udsugningen til følge. Forureningskilden er placeret næsten i lokalets midte, hvor hastighederne er små og luftudskiftningen lille. Der opstår derfor et højt koncentrationsniveau i umiddelbar nærhed af kilden. Den maksimale koncentration i lokalet har været op til 5-6 gange koncentrationen i udsugningen. Det betyder, at selv om den tilførte ventilationsluftmængde er fordoblet i forhold til undersøgelse nr. 3A, og det gennemsnitlige koncentrationsniveau i lokalet er faldet, kan der stadigvæk opstå de samme høje koncentrationsniveauer i lokalet.



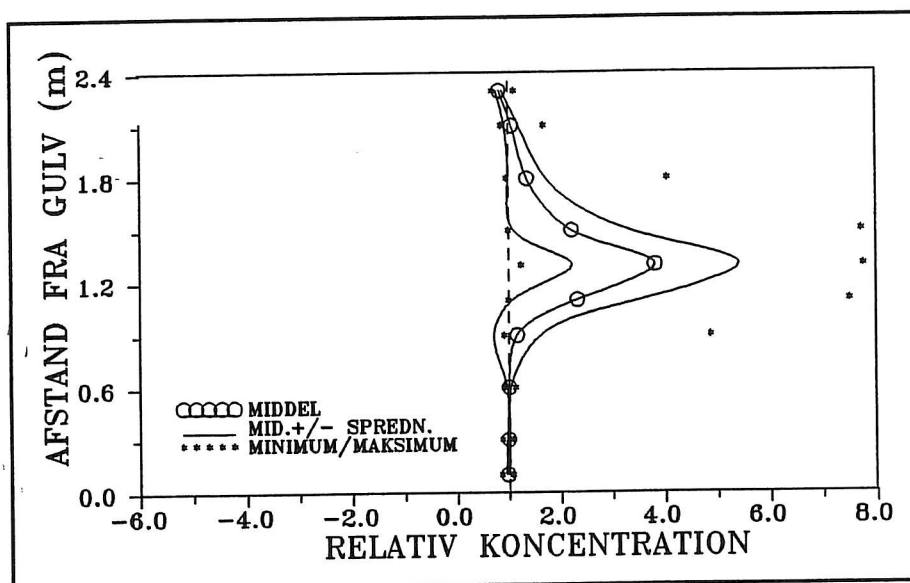
Figur 5.2. Undersøgelse nr. 3A. For hvert målepunkt er optegnet den gennemsnitlige koncentration, spredningen på de målte koncentrationer samt maksimums- og minimumskoncentrationer.



Figur 5.3. Undersøgelse nr. 3B. For hvert målepunkt er optegnet den gennemsnitlige koncentration, spredningen på de målte koncentrationer samt maksimums- og minimumskoncentrationer.

Ved undersøgelse nr. 3C medfører den tilførte ventilationsluftmængde, svarende til et specifikt luftskifte på  $n=6.0h^{-1}$  ifølge [5], at maksimalhastigheden i opholdszonen bliver omkring 0.33 m/s, hvilket er langt over komfortgrænsen.

Resultatet i figur 5.4 viser et vertikalt koncentrationsprofil med samme principielle forløb som ved undersøgelse nr. 3B. En ændring af ventilationsluftmængden fra undersøgelse nr. 3A til undersøgelse nr. 3B medførte store forandringer i strømningsforholdene i lokalet. Ændringen af ventilationsluftmængden fra undersøgelse nr. 3B til undersøgelse nr. 3C medfører ikke betydelige ændringer i strømningsbilledet. Der kan dog registreres en kraftigere recirkulerende strømning langs gulvniveau, idet koncentrationsforholdene ved gulvet er meget konstante, dvs der foregår en meget kraftig opblanding af luften ved gulvniveau.

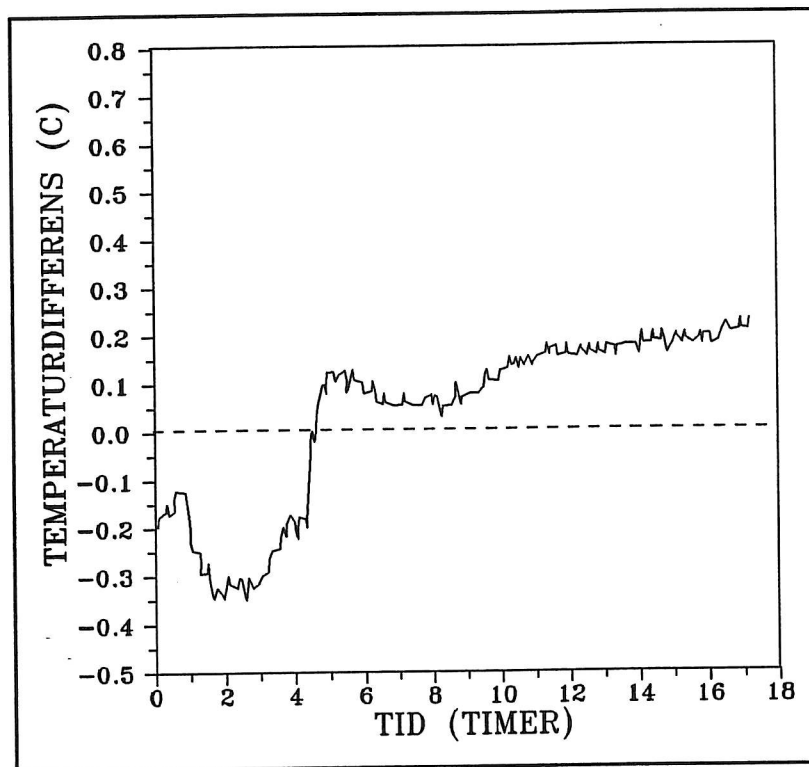


Figur 5.4. Undersøgelse nr. 3C. For hvert målepunkt er optegnet den gennemsnitlige koncentration, spredningen på de målte koncentrationer samt maksimums- og minimumskoncentrationer.

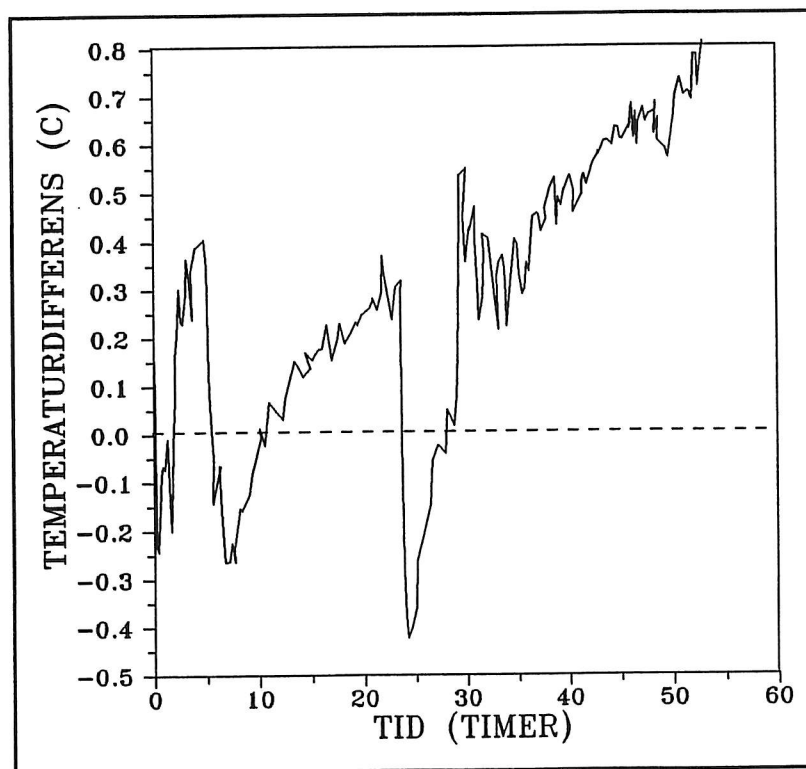
### 5.3 Kontrol af temperaturer i undersøgelsesperioden

Temperaturen blev ved undersøgelserne nr. 3A, nr. 3B og nr. 3C målt hvert femte minut i indblæsning, i udsugning og på overfladerne for at kontrollere, at undersøgelserne blev udført under tilnærmelsesvis stationære isotermiske forhold. Målepunkternes placering kan ses på figur 3.6.

På figurerne 5.5 - 5.7 er temperaturdifferensen mellem indblæsning og udsugning optegnet for henholdsvis undersøgelse nr. 3A, nr. 3B og nr. 3C. Ved undersøgelse nr. 3A, se figur 5.5, varierer temperaturdifferensen mellem  $+0.2^{\circ}C$  og  $-0.35^{\circ}C$ . Den gennemsnitlige temperaturdifferens er beregnet til  $0.16^{\circ}C$ . Temperaturdifferensen er forholdsvis mindre end ved de øvrige undersøgelser. Det skal dog bemærkes, at perioden, som temperaturerne er kontrolleret, i kun udgør de første 10-15% af måleperioden. Ved undersøgelse nr. 3B, se figur 5.6, varierer temperaturdifferensen mellem  $+0.8^{\circ}C$  og  $-0.4^{\circ}C$ .



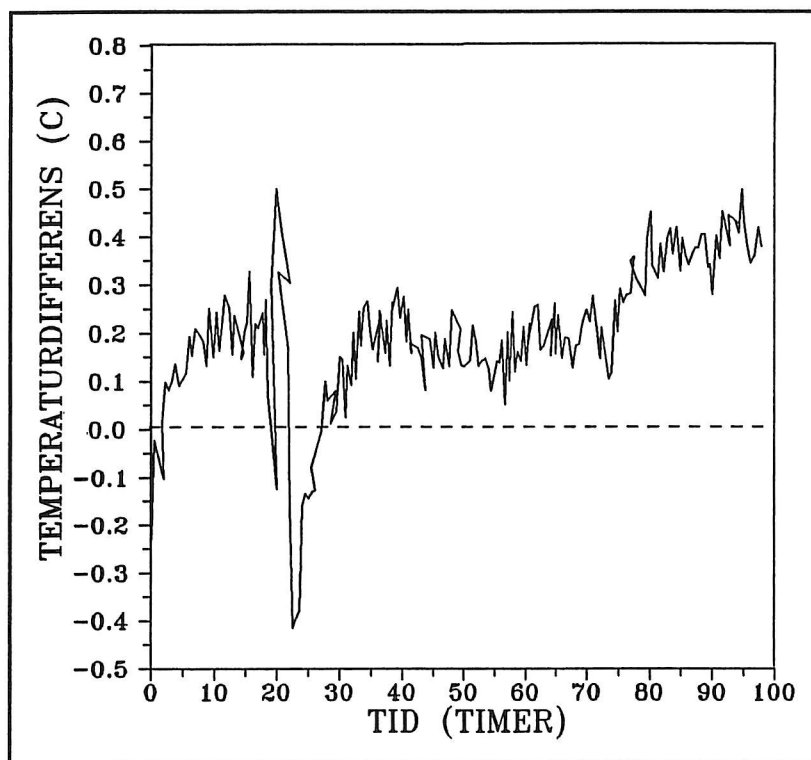
Figur 5.5. Temperaturdifferent mellem indblæsning og udsugning ved undersøgelse nr. 3A.



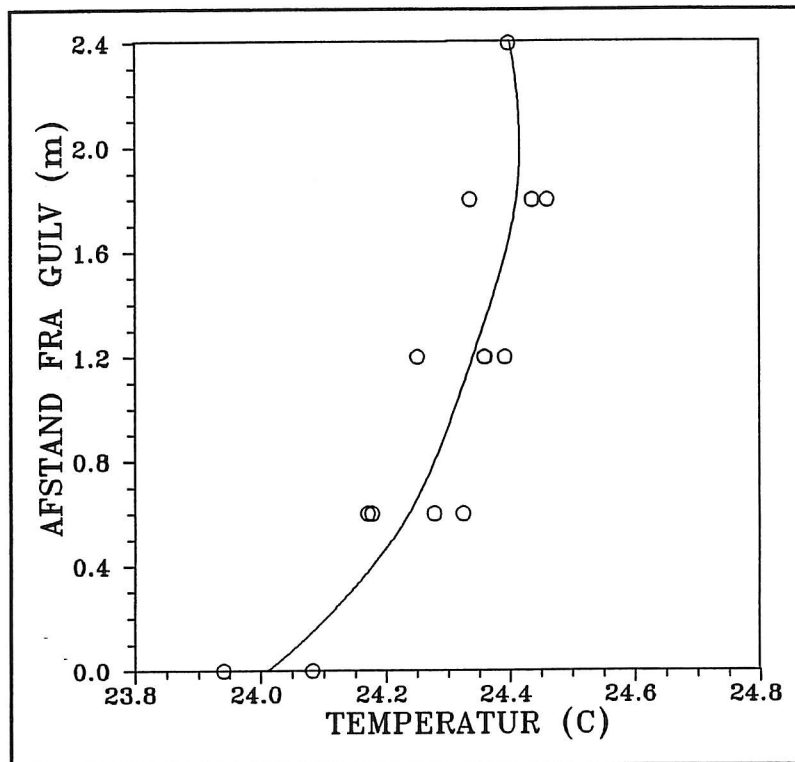
Figur 5.6. Temperaturdifferent mellem indblæsning og udsugning ved undersøgelse nr. 3B.

Den gennemsnitlige temperaturdifferens er beregnet til  $0.33\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Køleydelsen er forøget to gange i løbet af måleperioden efter henholdsvis ca. 5 timer og ca. 23 timer. Alligevel indblæses der i den sidste del af måleperioden med en indblæsningstemperatur på  $0.4\text{--}0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  over udsugningstemperaturen. Ved undersøgelse nr. 3C, se figur 5.7, varierer temperaturdifferensen mellem  $+0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  og  $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Den gennemsnitlige temperaturdifferens er beregnet til  $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Temperaturforholdene er meget konstante i hele måleperioden, og det var derfor kun nødvendigt at regulere køleydelsen en gang.

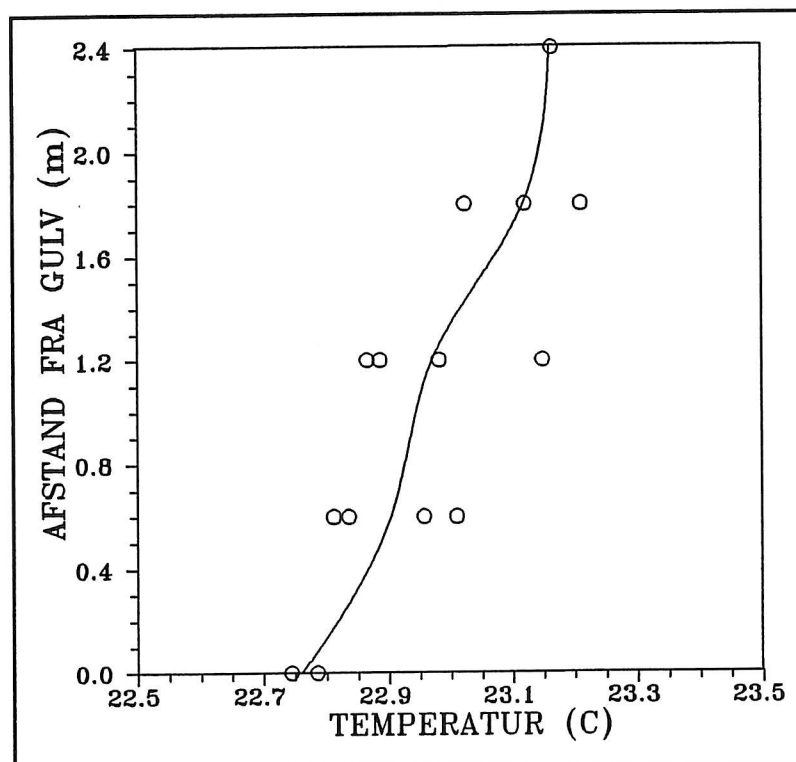
De gennemsnitlige overfladetemperaturer for undersøgelserne nr. 3A, nr. 3B og nr. 3C er optegnet på figurerne 5.8 - 5.10. Ved undersøgelse nr. 3A, se figur 5.8, varierer overfladetemperaturen mindre end  $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  mellem de fire vægoverflader. Temperaturgradienten i rummet er beregnet til  $0.17\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Ved undersøgelse nr. 3B, se figur 5.9, varierer overfladetemperaturen  $0.2 - 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  mellem de fire vægoverflader. Temperaturgradienten i rummet er også her beregnet til  $0.17\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Ved undersøgelse nr. 3C, se figur 5.10, varierer overfladetemperaturen op til  $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}$  mellem de fire vægoverflader i rummets midte. I den øvrige del af rummet er variationen meget mindre. Temperaturgradienten i rummet er beregnet til  $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ .



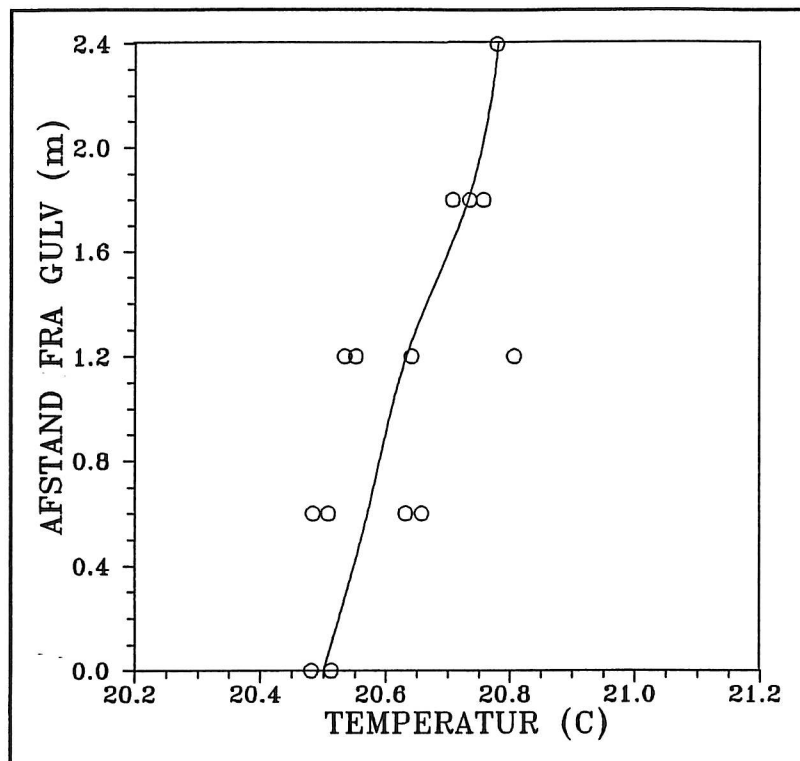
Figur 5.7. Temperaturdifferens mellem indblæsning og udsugning ved undersøgelse nr. 3C.



Figur 5.8. Gennemsnitlige overfladetemperaturer i fuldskalarummet ved undersøgelse nr. 3A.



Figur 5.9. Gennemsnitlige overfladetemperaturer i fuldskalarummet ved undersøgelse nr. 3B.



Figur 5.10. Gennemsnitlige overfladetemperaturer i fuldskalarummet ved undersøgelse nr. 3C.

#### 5.4 Konklusion

Undersøgelse nr. 3 viste, at koncentrationsfordelingen i lokalet afhænger af den tilførte ventilationsluftmængde specielt ved de ventilationsluftmængder, hvor maksimalhastigheden i opholdszonen ikke overskrider komfortgrænsen.

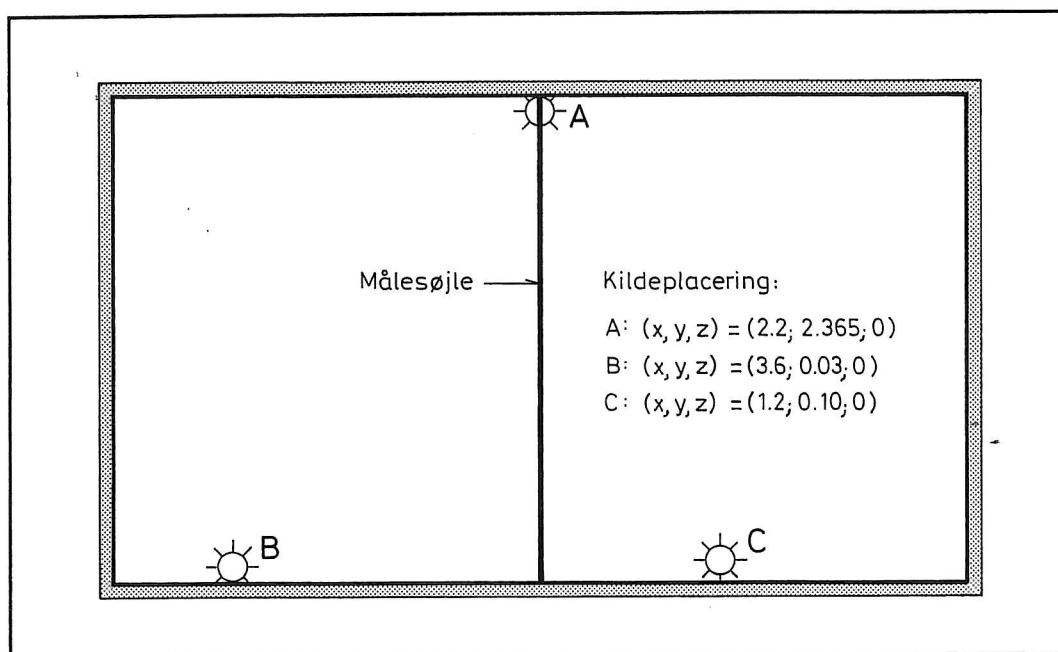
Målingerne viste også, at koncentrationsniveauet i nogle områder af lokalet kunne være væsentligt højere end koncentrationen i udsugningen. Der blev målt middelkoncentrationer op til 3-4 gange koncentrationen i udsugningen og maksimale koncentrationer på op til 8 gange koncentrationen i udsugningen. Dimensionering af ventilationsluftmængder til et lokale baseret på fortyndingsprincippet giver ikke sikkerhed for, at koncentrationen i lokalet er acceptabel overalt, og der må derfor enten benyttes andre metoder eller regnes med en vis sikkerhedsmargin.

## 6. Undersøgelse nr. 4: Måling af vertikal koncentrationsfordeling i afhængighed af kildeplacering

Ved undersøgelse nr. 4 er formålet at undersøge om den lokale lufthastighed omkring kilden og dens placering i rummet har indflydelse på kildestyrken og på koncentrationfordelingen i fuldskalarummet. Dette er undersøgt ved at ventilere fuldskalarummet med et konstant luftskifte i ca. fire døgn, ved at anbringe tre forskellige kilder tre forskellige steder i rummet og ved at anbringe opsamlingsrør langs en lodret linie midt i rummet.

### 6.1 Beskrivelse af undersøgelsen

Ved undersøgelse nr. 4 anvendtes tre forskellige sporgaskilder, der placeredes tre forskellige steder i fuldskalarummet, se figur 6.1. En kilde, kildeplacering A, placeredes ved målesøjlen midt i rummet, hvor den maksimale hastighed i indblæsningsstrålen fandtes. En anden kilde, kildeplacering B, placeredes, hvor den maksimale hastighed i opholdszonen fandtes, og en tredje kilde, kildeplacering C, placeredes et sted i opholdszonen, hvor der var målt en meget lav lufthastighed. Resultatet af hastighedsmålingerne i fuldskalarummet er publiceret i [5]. Da det ved kontrolmålingerne kun var muligt at benytte en sporgastype, udførtes kontrolmålingerne i tre omgange, efter at undersøgelsen med anvendelse af PFT-metoden var udført.



Figur 6.1. Kildeplacering i fuldskalarum.

Antal og placering af opsamlingsrør og kontrolmålepunkter var det samme som ved undersøgelse nr. 3, se figur 5.1.

Fuldskalarummet ventileredes med en konstant luftmængde på  $V = 109 \text{ m}^3/\text{h}$  svarende

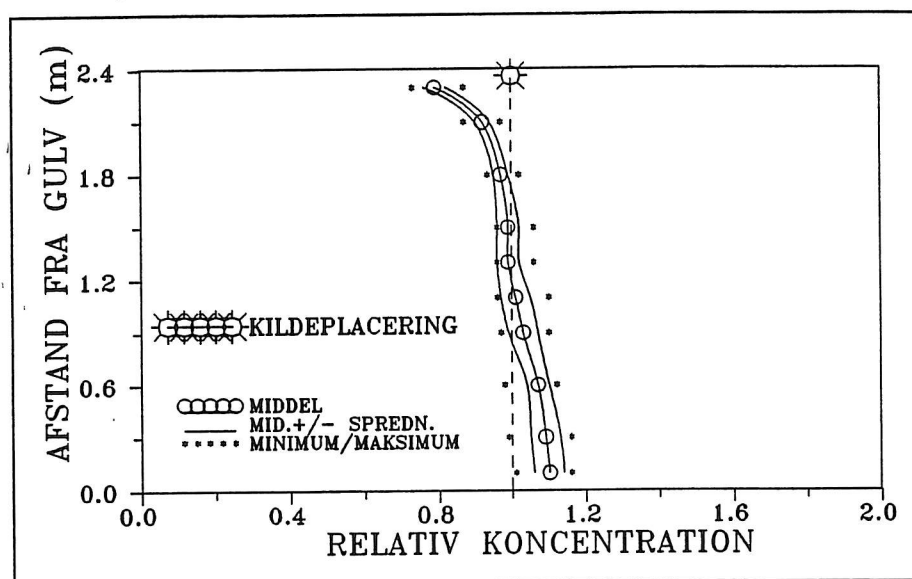


til et specifikt luftskifte på 3 rumv./h. Ved PFT-metoden var måleperioden på 101h 20min. Ved kontrolmålingerne var måleperioden for kildeplacering A, B og C henholdsvis 3h 50min, 16h 20min og 3h 45min.

## 6.2 Præsentation af måleresultater

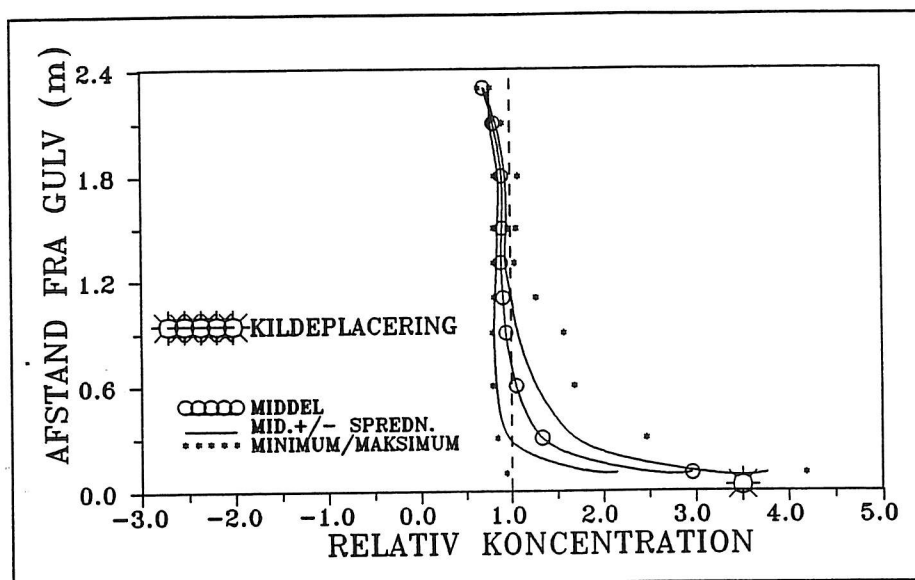
Måleresultaterne er i det følgende præsenteret ved relative koncentrationer. På figurerne 6.2 - 6.4 er resultaterne fra kontrolmålingerne vist for hver af undersøgelserne nr. 4A, nr. 4B og nr. 4C. På hver figur er optegnet den gennemsnitlige koncentration i hvert målepunkt, den gennemsnitlige koncentration  $\pm$  spredningen på de målte koncentrationer samt maksimums- og minimumskoncentrationer.

Ved undersøgelse nr. 4A viser resultatet i figur 6.2, at sporgassen blandes godt op med luften i indblæsningsstrålen. Dette resulterer i en meget homogen fordeling af sporgassen i lokalet, men også i at koncentrationen i hvert enkelt målepunkt varierer meget lidt. De maksimale udsving fra de målte middelkoncentrationer er mindre end 10%.

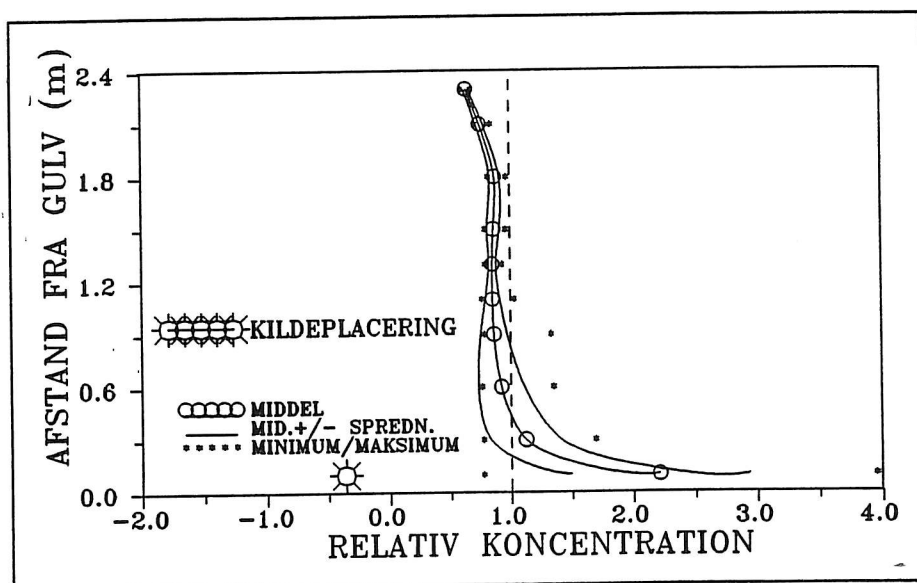


Figur 6.2. Undersøgelse nr. 4A. For hvert målepunkt er optegnet den gennemsnitlige koncentration, spredningen på de målte koncentrationer samt maksimums- og minimumskoncentrationer.

Ved undersøgelserne nr. 4B og nr. 4C viser resultatet på figurerne 6.3 og 6.4 nogenlunde samme sporgasfordeling i lokalet. I den øverste del af lokalet er koncentrationsniveauet som i udsugningen, og koncentrationen i hvert målepunkt varierer kun lidt som funktion af tiden. I den nederste del af lokalet, hvor kilderne er placeret, er middelkoncentrationen højere, og koncentrationen varierer også væsentligt mere med et maksimalt koncentrationsniveau på op til 1.5-2 gange niveauet i udsugningen.



Figur 6.3. Undersøgelse nr. 4B. For hvert målepunkt er optegnet den gennemsnitlige koncentration, spredningen på de målte koncentrationer samt maksimums- og minimumskoncentrationer.



Figur 6.4. Undersøgelse nr. 4C. For hvert målepunkt er optegnet den gennemsnitlige koncentration, spredningen på de målte koncentrationer samt maksimums- og minimumskoncentrationer.

### 6.3 Kontrol af temperaturer i undersøgelsesperioden

Temperaturen blev ved alle undersøgelser målt hvert femte minut i indblæsningen, i udsugningen og på overfladerne for at kontrollere, at undersøgelserne blev udført under tilnærmelsesvis stationære isoterme forhold. Målepunkternes placering kan ses på figur 3.6.

På figur 6.5 er temperaturdifferensen mellem indblæsning og udsugning optegnet for PFT-målingen, og på figurene 6.6-6.8 er den samme differens optegnet for kontrolmålingerne for henholdsvis undersøgelserne nr. 4A, nr. 4B og nr. 4C.

Ved PFT-målingerne varierer temperaturdifferensen mellem  $-0.35^{\circ}\text{C}$  og  $0.8^{\circ}\text{C}$ . Den gennemsnitlige temperaturdifferens er beregnet til  $0.17^{\circ}\text{C}$ . Køleydelsen er forøget tre gange i løbet af måleperioden efter henholdsvis ca. 5 timer, ca. 23 timer og ca. 52 timer.

Ved kontrolmålingerne, der har en langt kortere varighed, er det nemmere at holde en nogenlunde konstant temperatur. Ved undersøgelse nr. 4A varierer temperaturdifferensen mellem  $0.10^{\circ}\text{C}$  og  $0.25^{\circ}\text{C}$ . Temperaturdifferensen er meget konstant og viser kun små udsving. Den gennemsnitlige temperaturdifferens er beregnet til  $0.20^{\circ}\text{C}$ . Ved undersøgelse nr. 4B varierer temperaturdifferensen mellem  $-0.3^{\circ}\text{C}$  og  $0.20^{\circ}\text{C}$ . Den gennemsnitlige temperaturdifferens er beregnet til  $0.12^{\circ}\text{C}$ . Ved undersøgelse nr. 4C varierer temperaturdifferensen mellem  $-0.15^{\circ}\text{C}$  og  $0.20^{\circ}\text{C}$  men ligger i store dele af måleperioden lige omkring nul. Den gennemsnitlige temperaturdifferens er beregnet til kun  $0.07^{\circ}\text{C}$ .

De gennemsnitlige overfladetemperaturer for PFT-målingen er optegnet på figur 6.9. Overfladetemperaturerne varierer op til  $0.2^{\circ}\text{C}$  mellem de fire vægoverflader. Temperaturgradienten i rummet er beregnet til  $0.1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ .

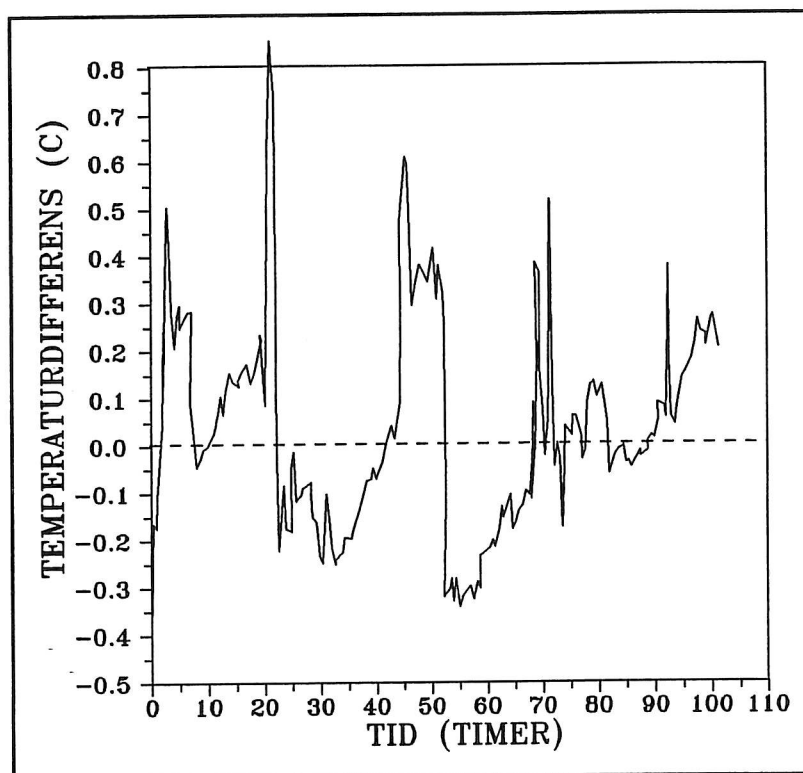
De gennemsnitlige overfladetemperaturer for kontrolmålingerne er optegnet på figurene 6.10-6.12. Ved undersøgelse nr. 4A varierer overfladetemperaturen mindre end  $0.2^{\circ}\text{C}$  mellem de fire vægoverflader. Temperaturgradienten i rummet er beregnet til  $0.07^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Ved undersøgelse nr. 4B varierer overfladetemperaturen op til  $0.4-0.5^{\circ}\text{C}$  mellem de fire vægoverflader midt i rummet. Tættere ved gulv og loft er variationen mindre. Temperaturgradienten i rummet er beregnet til  $0.11^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Ved undersøgelse nr. 4C varierer overfladetemperaturen ca.  $0.3^{\circ}\text{C}$  mellem vægoverfladerne, og temperaturgradienten er beregnet til  $0.12^{\circ}\text{C}$ .

Med temperaturgradienter i rummet af størrelsesordenen  $0.07-0.12^{\circ}\text{C}/\text{m}$  er det ikke muligt at opnå bedre isotermeriske forhold.

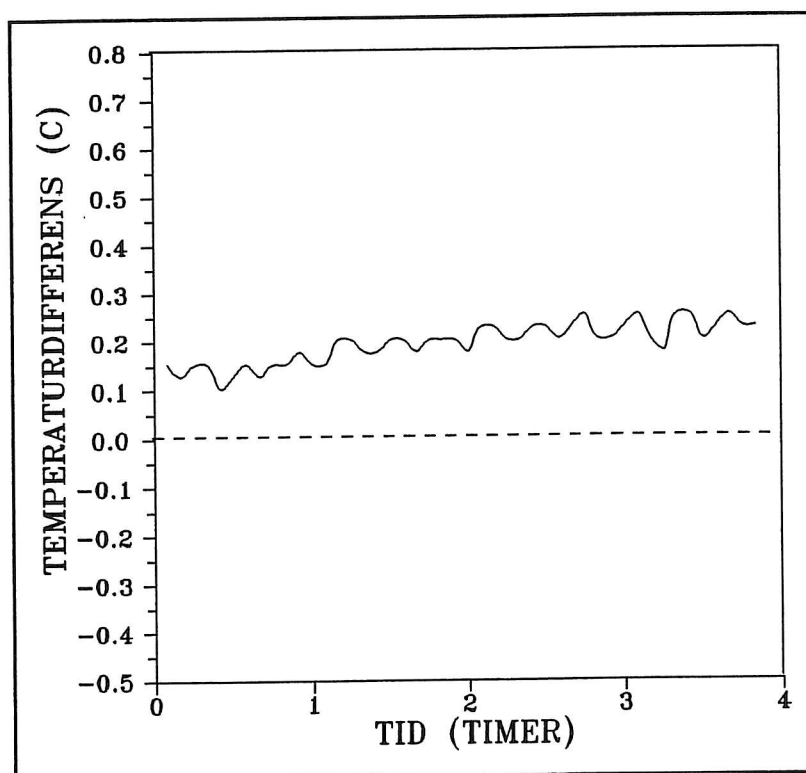
## 6.4 Konklusion

Undersøgelse nr. 4 viste, at forureningskildens placering i fuldskalarummet har stor betydning for koncentrationsfordelingen.

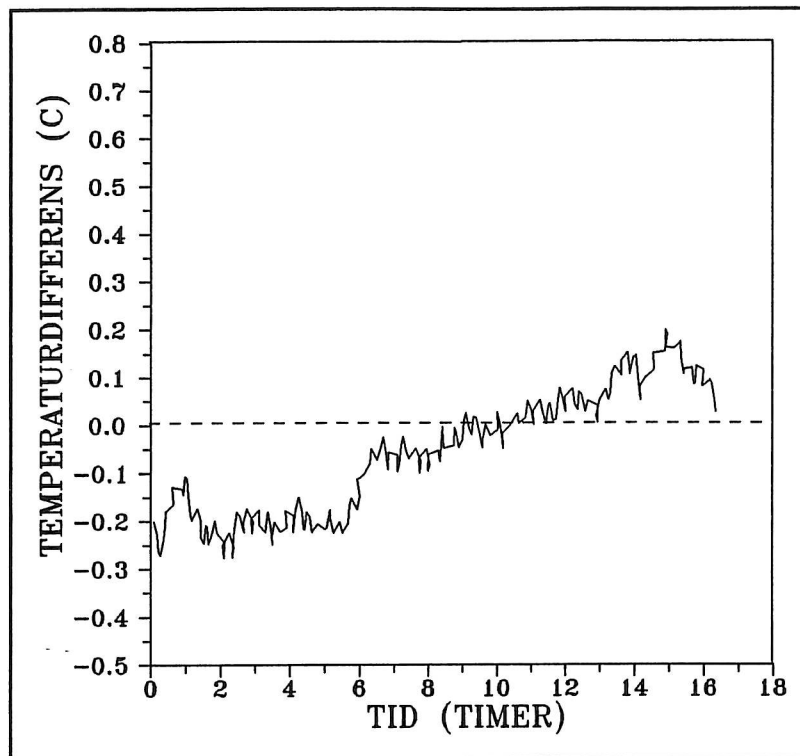
Undersøgelsen viste, at hvis kilden placeredes i et område af lokalet, hvor lufthastighederne var små og luftudskiftningen lille, ville der opstå et forholdsvist højt koncentrationsniveau i umiddelbar nærhed af kilden. Placeredes kilden derimod i et område med høje lufthastigheder og stor luftudskiftning, ville forureningen hurtigt transporteres bort, og der ville opstå en meget homogen forureningsfordeling i rummet.



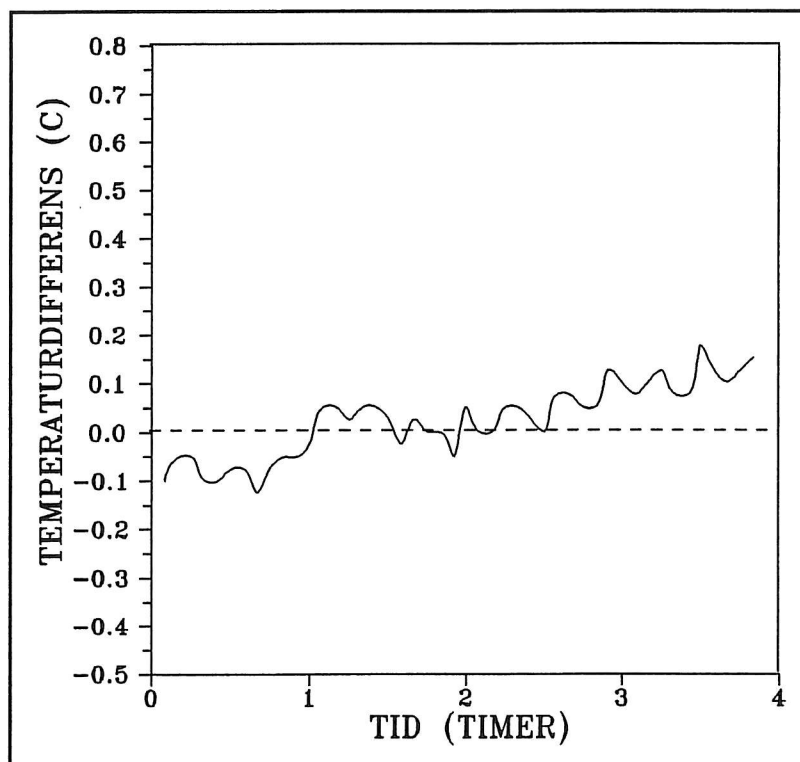
Figur 6.5. Temperaturdifferent mellem indblæsning og udsugning ved PFT-måling.



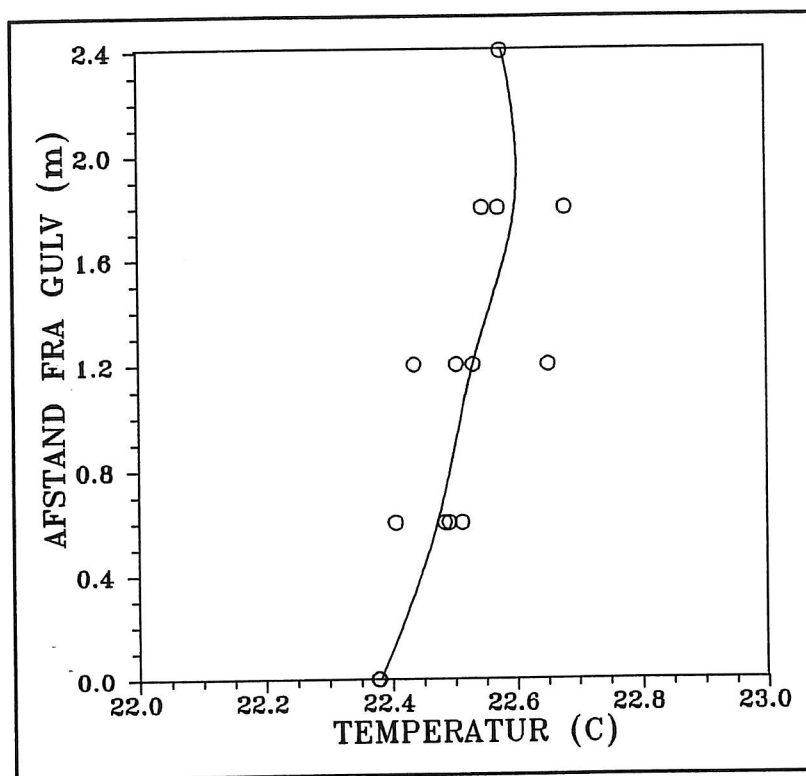
Figur 6.6. Temperaturdifferent mellem indblæsning og udsugning ved kontrolmåling, undersøgelse nr. 4A.



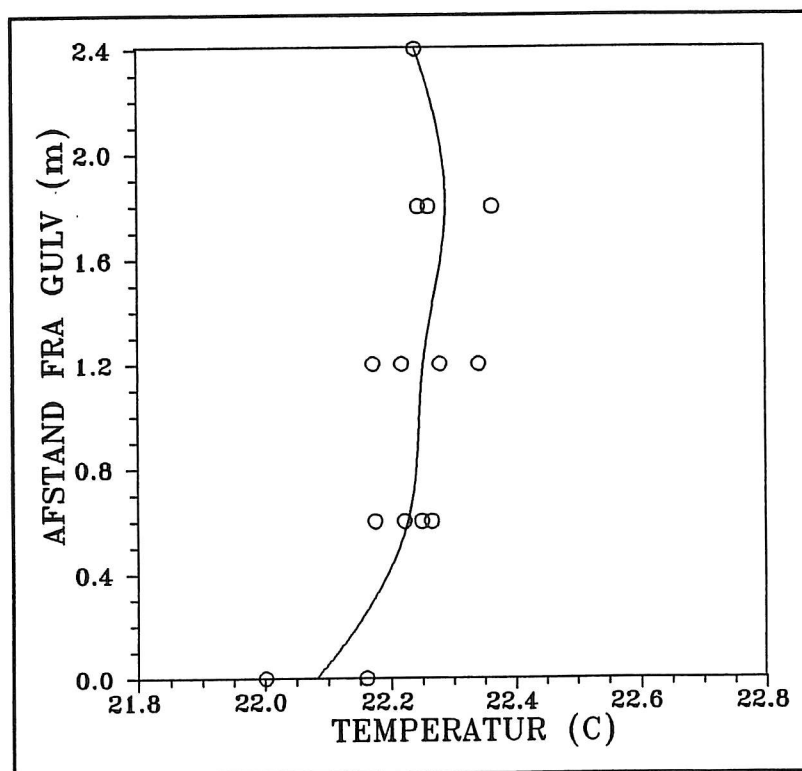
Figur 6.7. Temperaturdifferent mellem indblæsning og udsugning ved kontrolmåling, undersøgelse nr. 4B.



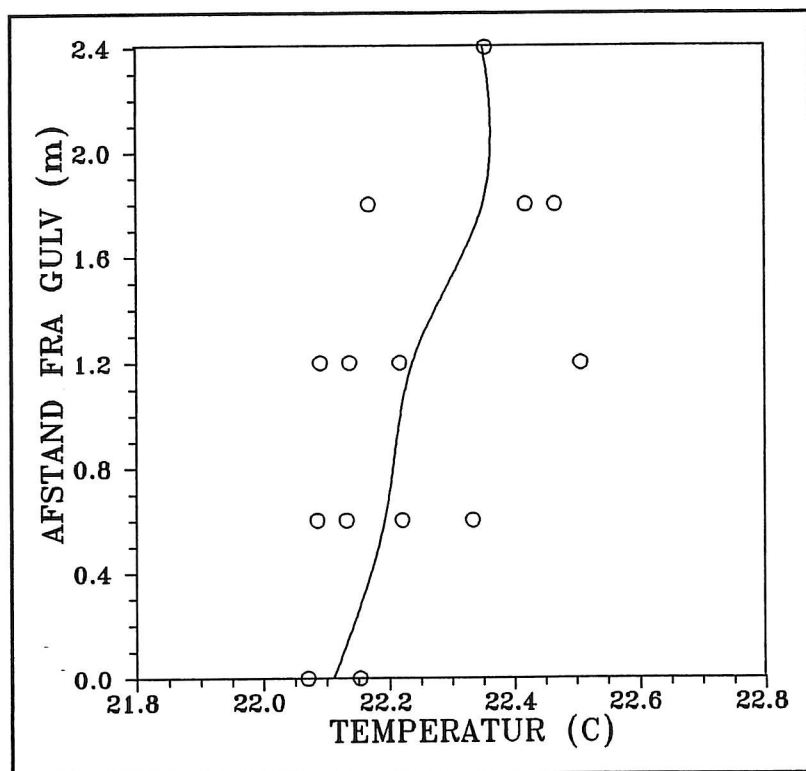
Figur 6.8. Temperaturdifferent mellem indblæsning og udsugning ved kontrolmåling, undersøgelse nr. 4C.



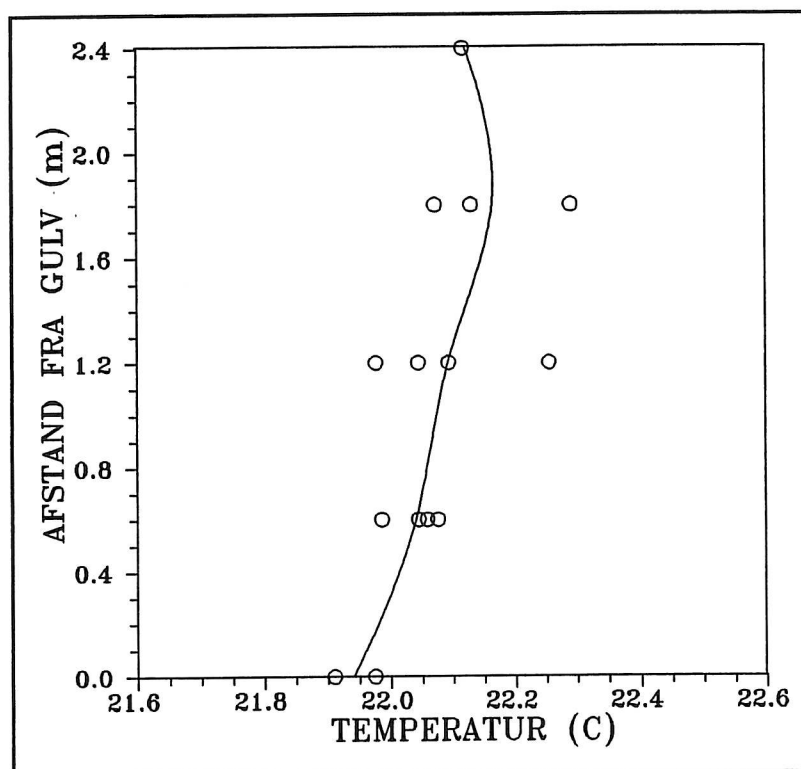
Figur 6.9. Gennemsnitlige overfladetemperaturer i fuldskalarummet ved PFT-måling.



Figur 6.10. Gennemsnitlige overfladetemperaturer i fuldskalarummet ved kontrolmåling, undersøgelse nr. 4A.



Figur 6.11. Gennemsnitlige overfladetemperaturer i fuldskalarummet ved kontrolmåling, undersøgelse nr. 4B.



Figur 6.12. Gennemsnitlige overfladetemperaturer i fuldskalarummet ved kontrolmåling, undersøgelse nr. 4C.

## 7. Sammenfatning

Denne rapportes resultater, der er baseret på målinger af koncentrationsforhold i et ventileret lokale med en traditionel sporgasmetode, giver en række retningslinier for, hvordan luftskifte og forureningsforhold bedst registreres i et lokale - også med PFT - metoden.

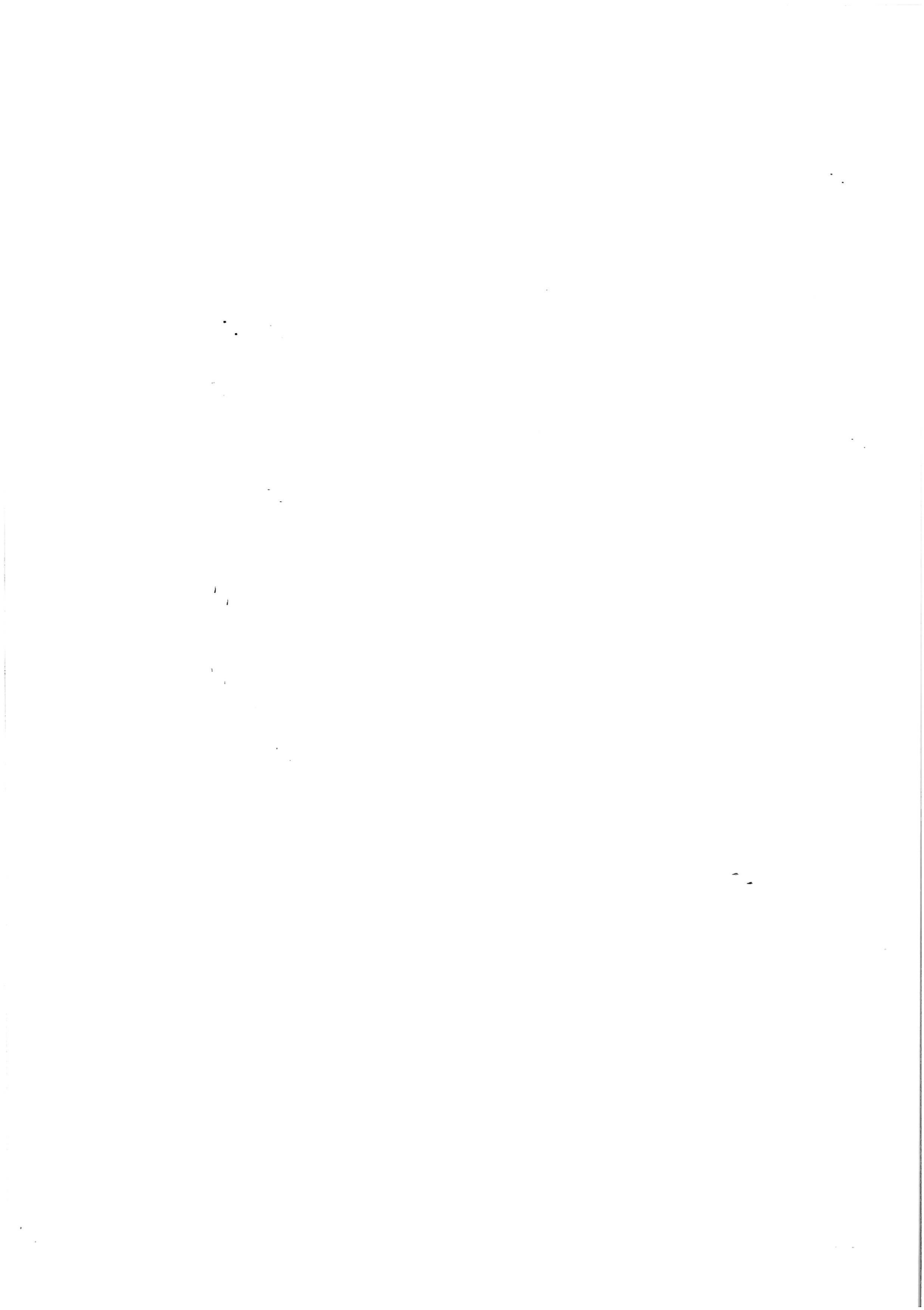
Fuldstændig opblanding med en ensartet koncentration i et lokale vil aldrig kunne opstå i praksis, der vil altid være større eller mindre koncentrationsforskelle. Bestemmelsen af luftskiftet i et lokale vil derfor afhænge af målepunkternes placering, hvor en placering tæt på sporgaskilden vil medføre måling af forholdsvis små luftskifter, mens en placering i nærheden af luftindtag vil medføre måling af forholdsvis store luftskifter. Forsøgsresultaterne viser, at luftskiftet i nogle områder af lokalet i bestemte situationer kan være 2-3 gange luftskiftet i andre områder. Den bedste måling af luftskiftet fås ved at placere målepunkterne i områder, hvor luften forlader lokalet eller ved at placere målepunkterne jævnt fordelt i lokalet.

Koncentrationsforskelle i lokalet afhænger blandt andet af sporgaskildens placering og af strømningsforholdene. Den mest ensartede fordeling af sporgas fås ved at placere kilden i områder af lokalet, hvor hastigheden er høj og luftudskiftningen stor, da sporgassen derved opblandes i den strømmende luft og hurtigt transporteres rundt i lokalet. Placeres sporgaskilden derimod i et område af lokalet med små hastigheder og lille luftudskiftning, vil der opstå et forholdsvis højt koncentrationsniveau i umiddelbar nærhed af kilden, før sporgassen opblandes og medrives af luften i lokalet, og der vil opstå store koncentrationsforskelle mellem forskellige områder i lokalet.

Forsøgsresultaterne har vist, at strømningsforholdene ændrer sig, når luftskiftet ændrer sig, og at de mest ensartede koncentrationsforhold fås ved de største luftskifter. Det er derfor heller ikke givet, at det er de samme områder i lokalet, hvor der måles henholdsvis et forholdsvis stort eller et forholdsvis lille luftskifte, ved en ændring af luftskiftet. Måleresultaterne ved henholdsvis et stationært og et varierende luftskifte, men dog ved samme gennemsnitlige luftskifte, giver således ikke samme resultat i alle målepunkter.

Koncentrationen i de enkelte målepunkter fluktuerer omkring en konstant middelværdi. Fluktuationernes størrelse afhænger af sporgassens opblanding med luften i lokalet. En tilførsel af sporgas i primærstrålen fra et indblæsningsarmatur giver en god opblanding og små fluktuationer i lokalet, mens en tilførsel i et dødt område af lokalet vil give en dårlig opblanding med store koncentrationsforskelle og fluktuationer. I enkelte situationer blev der målt middelkoncentrationer op til 3-4 gange koncentrationen i udsugningen og maksimale koncentrationer på op til 8-10 gange koncentrationen i udsugningen.





## 8. Litteraturliste

- [1] Lemaire, A.D.,  
Testrooms, Identical Testrooms,  
IEA-Annex 20 working report, May 1989.
- [2] Heikkinen, J.,  
Specifikation of Testcase B (Forced convection, isothermal),  
IEA-Annex 20 working report, April 1989.
- [3] Skåret, E.,  
Specifikation of Testcase F (Forced convection, isothermal with contaminants),  
IEA-Annex 20 working report, October 1989.
- [4] Nielsen, P.V.,  
Selection of Air Terminal Device,  
IEA-Annex 20 working report, December 1988, ISSN 0902 7513, R8838.
- [5] Skovgaard, M., Hyldgaard, C.E. and Nielsen, P.V.,  
High and Low Reynolds Number Measurements in a Room with an Impinging  
Isothermal Jet,  
Proceedings of the Int. Conf. ROOMVENT '90, Oslo, June 1990.